



El emprendimiento  
es de todos

Minhacienda



# METODOLOGÍA

de valoración de obligaciones contingentes  
para proyectos de infraestructura:

## EL CASO COLOMBIANO

Dirección General de Crédito Público y Tesoro Nacional

# METODOLOGÍA

de valoración de obligaciones contingentes  
para proyectos de infraestructura:

---

## EL CASO COLOMBIANO

Dirección General de Crédito Público y Tesoro Nacional

# MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO

Ministro de Hacienda y Crédito Público

**Alberto Carrasquilla Barrera**

Viceministro General

**Juan Alberto Londoño Martínez**

Viceministro Técnico

**Juan Pablo Zárate Perdomo**

Director General de Crédito Público

y Tesoro Nacional

**César Augusto Arias Hernández**

Subdirectora de Asociaciones Público

Privadas

**Yeimy Paola Molina Rojas**

Equipo Técnico

**Jenifer Bustamante Moreno**

**Germán Gómez Rubio**

**Robert Burch**

Validación Técnica

**Juan De Dios Ortúzar**

Profesor Emérito

Departamento de Ingeniería de Transporte  
y Logística

Pontificia Universidad Católica de Chile

**Michael Bennon**

Director General

Stanford Global Projects Center

Diseño y Diagramación

**Diana Londoño Aguilera**

Asesora de Comunicaciones

**Olga Ximena Novoa González**

Fotografías de Portada

**Cortesía ANI**

Fotografías de Contraportada

**Cortesía ANI**

Edición

Marzo de 2020

ISBN: 978-958-59015-7-5

eISBN: 978-958-59015-6-8



GRUPO BANCO MUNDIAL



U.S. DEPARTMENT OF THE TREASURY



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza en Colombia  
Cooperación Económica y Desarrollo (SECO)

# Contenido

---

<b>1. Presentación</b>	9
<b>2. Ámbito de aplicación</b>	11
<b>3. Introducción</b>	13
<b>4. Caracterización de los riesgos</b>	15
4.1 Área de riesgo valorable	15
4.2 Tipo de riesgos	17
4.3 Medida de riesgo	18
4.4 Esquema metodológico	20
4.5 Riesgos asociados con la etapa pre operativa	21
4.5.1 Riesgo predial	21
4.5.2 Riesgo ambiental	22
4.5.3 Riesgo de redes	22
4.5.4 Riesgo geológico	22
4.5.5 Otros riesgos	23
4.6 Riesgos asociados con la etapa operativa	23
4.6.1 Riesgo de demanda	23
4.6.2 Riesgo de tarifas diferenciales	23
4.6.3 Riesgo de imposibilidad en el cobro de los mecanismos de recaudo	24
4.6.4 Riesgo de reubicación de los mecanismos de recaudo	24
4.6.5 Otros riesgos relacionados con ingreso	24
<b>5. Valoración de riesgos asociados con la etapa pre operativa</b>	25
5.1 Distribución PERT	26
5.2 Casos para la aplicación de la metodología de valoración de riesgos asociados con la etapa pre operativa	27
5.2.1 Caso 1 – Información histórica consolidada para proyectos terminados	27
5.2.2 Caso 2 – Información consolidada para proyectos en ejecución	31
5.2.3 Caso 3 – Ausencia completa de información	33
5.3 Calibración de la función PERT	34

5.4 Valoración de Riesgo .....	37
<b>6. Valoración de riesgos asociados con la etapa operativa</b> .....	<b>39</b>
6.1 Riesgo de demanda .....	40
6.1.1 Caso 1. Información histórica disponible y adecuada .....	40
6.1.1.1 Alistamiento de datos e identificación de variables explicativas .....	40
6.1.1.2 Suavización y transformación de la serie .....	45
6.1.1.3 Modelo econométrico y proyección de la línea base de la demanda futura .....	46
6.1.1.4 Transformación de la serie en datos anuales .....	52
6.1.1.5 Ajuste de riesgo I: Error de estimación .....	52
6.1.1.6 Ajuste de riesgo II: cambios estructurales proyectados .....	54
6.1.1.7 Estimación de los ingresos del proyecto y cálculo del contingente .....	57
6.1.2 Caso 2. Información histórica insuficiente .....	57
6.1.2.1 Ajuste de Riesgo I: error de estimación .....	57
6.1.2.2 Ajuste de Riesgo II: cambio estructural .....	59
6.2 Riesgo de Tarifas Diferenciales .....	60
6.2.1 Cálculo de cantidades $Q_t$ .....	61
6.2.1.1 Caso 1. Información histórica disponible y adecuada para categorías diferenciales .....	61
6.2.1.1.1 Proyección línea base de demanda para tarifas diferenciales .....	61
6.2.1.1.2 Ajuste de Riesgo I: error de la estimación para categorías diferenciales .....	62
6.2.1.1.3 Ajuste de Riesgo II: cambios en el comportamiento de la serie de tarifas diferenciales .....	63
6.2.1.2 Caso 2. Información histórica insuficiente y/o inadecuada para tarifas diferenciales .....	63
6.2.1.2.1 Ajuste de Riesgo I: error de la estimación para categorías diferenciales .....	64
6.2.1.2.2 Ajuste de Riesgo II: cambios en el comportamiento de la serie de tarifas diferenciales .....	65
6.2.2 Definición de las tarifas P .....	65
6.2.2.1 Caso 1. Información del proyecto disponible .....	65
6.2.2.2 Caso 2. Información del proyecto insuficiente .....	66

6.2.3 Estimación de los ingresos y cálculo del contingente por tarifas diferenciales .....	67
<b>6.3 Riesgo de Imposibilidad de Cobro de Mecanismos de Recaudo .....</b>	<b>67</b>
<b>6.4 Riesgo de Reubicación de los Mecanismos de Recaudo .....</b>	<b>68</b>
<b>6.5 Otros Riesgos Relacionados con la no Obtención de Ingresos .....</b>	<b>68</b>
<b>6.6 Otros Riesgos .....</b>	<b>68</b>
<b>6.7 Cálculo del Plan de Aportes al Fondo de Contingencias de las Entidades     Estatales .....</b>	<b>69</b>
<b>7. Ejemplos Prácticos .....</b>	<b>71</b>
<b>7.1 Ejemplo práctico riesgos asociados a la etapa pre operativa .....</b>	<b>71</b>
i) Definición y cálculo de parámetros iniciales .....	71
<b>CASO 1. Información histórica consolidada para proyectos terminados .....</b>	<b>74</b>
» Información de sobrecosto para el proyecto que se pretende evaluar .....	75
» No existencia de información de sobrecosto para el proyecto .....	76
<b>CASO 2. Información consolidada para proyectos en ejecución .....</b>	<b>77</b>
» Sobrecosto proyecto mayor al promedio de sobrecosto proyectos en ejecución .....	77
» Sobrecosto proyecto menor al promedio de sobrecosto proyectos en ejecución .....	78
» No existencia de pronóstico para el proyecto .....	79
<b>CASO 3. Ausencia completa de información .....</b>	<b>80</b>
ii) Calibración de la función PERT .....	80
iii) Valor contingente .....	87
<b>7.2 Ejemplo práctico riesgos asociados a la etapa operativa .....</b>	<b>87</b>
<b>CASO 1. Riesgo de Demanda: información histórica disponible y adecuada .....</b>	<b>87</b>
1. Alistamiento de datos e identificación de variables explicativas .....	88
» Serie de demanda histórica .....	88
» Verificación de datos atípicos .....	92
» Identificación de las variables independientes del modelo .....	96
2. Suavización y transformación de la serie de demanda .....	105
3. Modelo econométrico y proyección de la línea base de la demanda futura .....	110
» Proyección de la línea base de la demanda futura Categoría I (tendencia histórica) .....	112

» Proyección de la línea base de la demanda futura Categoría I (tendencia futura) .....	112
4. Ajuste de Riesgo I: Error de estimación .....	122
5. Ajuste de Riesgo II: Cambio estructural .....	124
<b>CASO 2. Riesgo de Demanda: Información histórica insuficiente o no adecuada .....</b>	<b>126</b>
» Línea base de acuerdo con estructuración .....	127
» Ajuste de riesgo I: Errores de la estimación .....	128
» Ajuste de riesgo II: Cambio Estructural .....	130
<b>CASO 3. Riesgo de Tarifas Diferenciales: Información histórica disponible .....</b>	<b>132</b>
» Ajuste de Riesgo I: error de estimación .....	132
» Ajuste de Riesgo II: Cambio en el comportamiento de la serie .....	132
<b>CASO 4. Riesgo de Tarifas Diferenciales: información histórica insuficiente y/o no adecuada .....</b>	<b>134</b>
» Definición de Q (Cantidades) .....	135
» Línea base de acuerdo con estructuración .....	135
» Ajuste de riesgo I: Errores de la estimación .....	136
» Ajuste de riesgo II: cambio en el comportamiento de la serie .....	138
» Definición de P (Tarifas) .....	138
<b>CASO 5. Otros Riesgos: Imposibilidad en el cobro de mecanismos de recaudo – Reubicación de mecanismos de recaudo – Riesgos relacionados con la no obtención de ingresos .....</b>	<b>139</b>
<b>8. Glosario de Términos .....</b>	<b>141</b>
<b>9. Bibliografía .....</b>	<b>143</b>

## Gráficos

Gráfico 1. Área valorable .....	16
Gráfico 2. Gestión de riesgos .....	17
Gráfico 3. Clasificación de riesgos por etapa .....	18
Gráfico 4. Procedimiento general de valoración de riesgo .....	20
Gráfico 5. Pasos para la aplicación de la metodología de riesgos asociados con la etapa pre operativa .....	26
Gráfico 6. Definición de casos - Árbol de decisión .....	27
Gráfico 7. Función PERT calibrada con diferentes VMP .....	35
Gráfico 8. Función PERT calibrada con diferentes VMax .....	35
Gráfico 9. Función de distribución de probabilidad PERT .....	36
Gráfico 10. Percentil 95 de la distribución .....	38
Gráfico 11. Serie de demanda de tráfico original .....	41
Gráfico 12. Serie de demanda de tráfico – extrapolando dato atípico .....	42
Gráfico 13. Serie original vs serie suavizada .....	46
Gráfico 14. Línea base de demanda (mensual) .....	51
Gráfico 15. Línea base de demanda con promedio de los últimos 12 meses .....	51
Gráfico 16. Línea base de demanda futura anual .....	52
Gráfico 17. Ajuste de Riesgo I .....	53
Gráfico 18. Ajuste de Riesgo II .....	56
Gráfico 19. Información histórica insuficiente .....	60
Gráfico 20. Probabilidad punto y acumulada .....	84
Gráfico 21. Percentil de riesgo 70 % y sobrecosto 78% .....	86
Gráfico 22. Serie de demanda CAT I .....	91
Gráfico 23. Serie de demanda CAT II .....	91
Gráfico 24. Series Original y Suavizada CAT I .....	110
Gráfico 25. Línea base de demanda Categoría I- Modelo econométrico .....	119
Gráfico 26. Línea base de demanda Categoría I (Caso sin PIB) .....	119
Gráfico 27. Ajuste de Riesgo I Categoría I .....	124
Gráfico 28. Ajuste de Riesgo II Categoría I .....	125
Gráfico 29. Línea base estructuración .....	127

Gráfico 30. Ajuste de Riesgo I – Categoría I .....	129
Gráfico 31. Ajuste de Riesgo I – Categoría II .....	129
Gráfico 32. Ajuste de Riesgo II – Categoría I .....	131
Gráfico 33. Ajuste de Riesgo I – Tráfico Diferencial .....	133
Gráfico 34. Ajuste de Riesgo II – Tráfico Diferencial .....	134
Gráfico 35. Ajuste de Riesgo I Peaje 1 .....	137
Gráfico 36. Ajuste de Riesgo I Peaje 2 .....	137

## Tablas

Tabla 1. Función de distribución de probabilidad PERT .....	36
Tabla 2. Percentiles asociados al avance del riesgo del proyecto .....	37
Tabla 3. Estimación percentil 95 .....	38
Tabla 4. Signo de los parámetros .....	48
Tabla 5. Significancia de los parámetros .....	48
Tabla 6. Resultados modelo econométrico .....	50
Tabla 7. Resultados reestimación modelo econométrico .....	50

## Capítulo 1

# Presentación

---

En el año 2011 fue publicado por la Dirección General de Crédito Público y Tesoro Nacional (DGCPTN) el documento denominado “*Metodología, valoración y seguimiento de riesgos en contratos estatales*”. En este se encuentran estipuladas las metodologías actualmente aprobadas por la Dirección General de Crédito Público y Tesoro Nacional, las cuales son utilizadas para la valoración de riesgos en contratos estatales, en cumplimiento del artículo 44 del Decreto 423 de 2001<sup>1</sup>. Estas metodologías han permitido calcular la valoración de obligaciones contingentes para proyectos que actualmente se encuentran en ejecución, generando así una provisión de recursos al interior del Fondo de Contingencias de las Entidades Estatales (FCEE), lo cual contribuye a contar con un mecanismo líquido de mitigación, ante la eventual materialización de los riesgos a cargo de la Nación o la Entidad Pública Contratante.

Bajo este antecedente y en cumplimiento del artículo 46 del Decreto 423 de 2001<sup>2</sup> se emite el siguiente documento, con el objetivo de presentar mejoras respecto a la metodología de valoración de obligaciones contingentes que se encuentra vigente actualmente, e incorporar las lecciones aprendidas de los proyectos en ejecución. Lo anterior se materializa en modelos matemáticos y estadísticos actualizados que permitan medir con mayor precisión los riesgos

.....

<sup>1</sup> Artículo 44 – “*De las metodologías de valoración de contingencias. La Dirección General de Crédito Público del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, adoptará mediante actos administrativos de carácter general, las metodologías aplicables a los contratos estatales para determinar el valor de las obligaciones contingentes que en ellos se estipulen*” (Compilado Decreto 1068 de 2015).

<sup>2</sup> Artículo 46 - “*Evolución de las metodologías. La Dirección General de Crédito Público del Ministerio de Hacienda y Crédito Público evaluará permanentemente las metodologías de valoración de obligaciones contingentes de las entidades estatales, con miras a mantenerlas en consonancia con las necesidades reales de contratación pública. En todo caso, la evolución de las metodologías, deberá orientarse respetando la finalidad y los objetivos del sistema de política de riesgo contractual del Estado*” (Compilado Decreto 1068 de 2015).



asumidos por las Entidades Públicas en los contratos de infraestructura y a su vez provisionar los recursos necesarios en el Fondo de Contingencias de las Entidades Estatales, previo a la materialización de los riesgos.

Este documento contiene los lineamientos requeridos para valorar las obligaciones contingentes en el marco de los diferentes esquemas contractuales de participación privada en infraestructura, que rigen en Colombia (ej. Asociaciones Público-Privadas, Concesiones, entre otros) en donde el Estado asume una porción de los riesgos. El objetivo de la cuantificación de los riesgos y su respectivo plan de aportes al FCEE se enmarca en las buenas prácticas de planeación y en la reducción de la volatilidad fiscal que podría originarse ante la materialización de ciertas obligaciones contingentes pactadas en los contratos de infraestructura suscritos por las distintas Entidades Estatales.

En este sentido, este manual corresponde a la actualización del libro *“Metodología, valoración y seguimiento de riesgos en contratos estatales”*, publicado por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público en el 2011. El esquema metodológico propuesto en esta nueva metodología propende por la identificación de las características principales de los riesgos en contratos estatales, el reconocimiento del contexto alrededor de los riesgos, y la valoración de estos. Este último elemento se deberá realizar en la etapa de estructuración del proyecto y en el respectivo seguimiento periódico, partiendo de la base que el comportamiento de los riesgos es dinámico durante la vigencia de los contratos.

Respecto a los lineamientos de política pública, el presente documento propone las directrices básicas que las Entidades Estatales deben contemplar en un proceso de gestión de riesgos y obligaciones contingentes. Lo anterior con el objetivo de adoptar estrategias de planeación y control del presupuesto frente a las obligaciones contingentes asumidas en contratos estatales de infraestructura. En síntesis, esta guía metodológica busca caracterizar los riesgos contemplados en el marco de la ejecución de los contratos, definir las herramientas necesarias para su valoración, y en los casos en los que haya lugar, realizar el cálculo del cronograma del plan de aportes al FCEE.

## Capítulo 2

# Ámbito de aplicación

---

En el caso colombiano, la gestión de riesgos hace parte integral de las buenas prácticas de contratación pública y está enmarcada en las directrices de disciplina y prudencia fiscal.

En primer lugar, conforme a la Ley 448 de 1998<sup>3</sup> y la reglamentación a través del Decreto 423 de 2001<sup>4</sup> se menciona que: *“son obligaciones contingentes aquellas en virtud de las cuales alguna de las entidades señaladas en el artículo octavo del presente decreto, estipula contractualmente a favor de su contratista, el pago de una suma de dinero, determinada o determinable a partir de factores identificados, por la ocurrencia de un hecho futuro e incierto”*.

En segundo lugar, en la Ley 1150 de 2007<sup>5</sup> se menciona *“DE LA DISTRIBUCIÓN DE RIESGOS EN LOS CONTRATOS ESTATALES. Los pliegos de condiciones o sus equivalentes deberán incluir la estimación, tipificación y asignación de los riesgos previsibles involucrados en la contratación. En las licitaciones públicas, los pliegos de condiciones de las entidades estatales deberán señalar el momento en el que, con anterioridad a la presentación de las ofertas, los oferentes y la entidad revisarán la asignación de riesgos con el fin de establecer su distribución definitiva”*. En este sentido, en virtud de la obligación asumida, el riesgo fiscal al que se encuentra expuesto la Nación y/o la entidad contratante en

.....

<sup>3</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 448 (21, julio, 1998). Por medio de la cual se adoptan medidas en relación con el manejo de las obligaciones contingentes de las entidades estatales y se dictan otras disposiciones en materia de endeudamiento público. Artículo 6.

<sup>4</sup> COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto 423 (14, marzo, 2001). Por el cual se reglamenta parcialmente las leyes 448 de 1998 y 185 de 1995. Artículo 6.

<sup>5</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1150 (16, julio, 2007). Por medio de la cual se introducen medidas para la eficiencia y la transparencia en la Ley 80 de 1993 y se dictan otras disposiciones generales sobre la contratación con Recursos Públicos. Artículo 4.



los proyectos de infraestructura se encuentra en función, tanto de la recurrencia del riesgo (probabilidad), como de la magnitud del impacto (pérdida, sobrecosto, etc.)

En tercer lugar, como una medida de responsabilidad fiscal, mediante la Ley 448 de 1998<sup>6</sup>, se creó el Fondo de Contingencias de las Entidades Estatales que tiene por objeto *“atender las obligaciones contingentes de las Entidades Estatales que determine el Gobierno”*. Así mismo, el artículo 44 del Decreto 423 de 2001 menciona que: *“De las metodologías de valoración de contingencias. La Dirección General de Crédito Público del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, adoptará mediante actos administrativos de carácter general, las metodologías aplicables a los contratos estatales para determinar el valor de las obligaciones contingentes que en ellos se estipulen y el incremento o la disminución de los aportes que fueren necesarios, de conformidad con las disposiciones presupuestales”*. Lo anterior implica que, por mandato legal, la DGCPTN define las metodologías aplicables a la valoración de obligaciones contingentes que como resultado arrojan el cronograma de aportes al FCEE, en los casos en los que aplique.

De acuerdo con lo anterior, el ámbito de aplicación de este documento corresponde a todas aquellas entidades que se rijan bajo la Ley 448 de 1998 y el Decreto 423 de 2001, y sus modificaciones. Sin perjuicio de lo anterior, en este documento se estipulan lineamientos generales para la gestión de riesgos, con el fin de que las Entidades Estatales cuenten con herramientas de referencia para la cuantificación de las obligaciones contingentes y el manejo adecuado de los riesgos que las entidades estatales asumen en el marco de los contratos de infraestructura.

.....

<sup>6</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 448 (21, julio, 1998). Por medio de la cual se adoptan medidas en relación con el manejo de las obligaciones contingentes de las entidades estatales y se dictan otras disposiciones en materia de endeudamiento público. Artículo 2.

## Capítulo 3

# Introducción

---

El análisis dinámico de los riesgos a que está sujeto un proyecto tanto en su estructuración como en su ejecución en el tiempo, redundará en una mejora permanente en el proceso de toma de decisiones y capacidad de gestión contractual. Un mejor uso de la información asociada a los riesgos a cargo del sector público permite evaluar adecuada y sistemáticamente las obligaciones contingentes que podrían afectar de manera significativa a las Entidades Estatales.

Para prever y tomar acciones sobre el impacto fiscal de las obligaciones contingentes es necesario incorporar modelos de riesgos en los que se analizan las desviaciones de las variables en estudio, respecto a sus niveles esperados y así observar si existe un impacto negativo o positivo sobre variables fundamentales del proyecto. Algunos de los ejemplos de dichas variables pueden ser: los ingresos futuros o el presupuesto del proyecto en cuestión.

Si bien los ejemplos utilizados para ilustrar la metodología corresponden a proyectos viales, estas metodologías tienen carácter general y aplican para modelar los principales riesgos en proyectos de infraestructura<sup>7</sup>, en concordancia con el ámbito de aplicación de la Ley 448 de 1998, Ley 1508 de 2012, el Decreto 423 de 2001 y las subsecuentes modificaciones de la normatividad mencionada.

Por consiguiente, las metodologías presentadas se concentran en los procedimientos matemáticos generales utilizados para la valoración de riesgos. Los parámetros específicos dependen del tipo de proyecto que se analice. Así, dichos parámetros sectoriales estarán disponibles para consulta en la página web de la Subdirección de Asociaciones Público Privadas (APP's)<sup>8</sup>, de la DGCPTN y harán parte integral de la metodología adoptada por la DGCPTN.

.....

<sup>7</sup> Siempre y cuando se asemejen con lo descrito en este documento.

<sup>8</sup> Actualmente el URL de la página es: [https://www.minhacienda.gov.co/webcenter/portal/EntidadesFinancieras/pages\\_asociacionespblicoprivadasapps](https://www.minhacienda.gov.co/webcenter/portal/EntidadesFinancieras/pages_asociacionespblicoprivadasapps)



## METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - EL CASO COLOMBIANO

---

Con el propósito de tener un adecuado entendimiento de la metodología, es recomendable que los usuarios de esta cuenten con conocimientos intermedios de estadística, además del conocimiento del contexto del proyecto y el sector en que se desarrolla. El rigor en la aplicación de la metodología es fundamental para que los resultados reflejen relaciones consistentes entre las variables y sus escenarios de riesgo.

La presentación de la metodología se realiza de la siguiente forma. El Capítulo 4 describe el proceso de clasificación y los elementos fundamentales de los riesgos en proyectos de infraestructura. Los Capítulos 5 y 6 describen en detalle los pasos para la valoración cuantitativa de los dos grandes tipos de riesgo: riesgos asociados con la etapa pre operativa y con la etapa operativa de un proyecto. El capítulo 7 tiene como objetivo presentar un ejemplo práctico de la utilización de los modelos de valoración para cada tipo de riesgo y para cada caso que se ha presentado a lo largo del documento. El capítulo 8 contiene un glosario de términos que puede ser de utilidad para entender y aplicar el contexto de los modelos de valoración de obligaciones contingentes. Finalmente, el capítulo 9 incluye la bibliografía y el soporte académico utilizado para desarrollar y acoplar los modelos matemáticos al caso colombiano.

## Capítulo 4

# Caracterización de los riesgos

---

La identificación de los factores de riesgo de los proyectos de infraestructura debe realizarse desde la etapa de estructuración. Así, resulta fundamental determinar desde el inicio, los riesgos a valorar que pueden presentarse tanto en la etapa pre operativa, como en la etapa operativa del proyecto.

En este sentido, la entidad estatal deberá realizar dos pasos previos antes de la calificación cualitativa de probabilidad e impacto. En primer lugar, en el marco de la estructuración y seguimiento del proyecto, deberá identificar los factores de riesgo que se encuentran en el contrato entre la entidad estatal y el privado. En segundo lugar, deberá asignar entre las partes cada uno de estos factores, también denominados riesgos u obligaciones contingentes. La asignación debe quedar en cabeza de alguna de las partes contractuales<sup>9</sup>, entidad estatal (público), concesionario (privado) o podrá ser compartido entre las dos partes, de acuerdo con los lineamientos de política de riesgos contractuales.

### 4.1 Área de riesgo valorable

Posterior a la identificación y asignación de los riesgos del proyecto, se definirá la probabilidad e impacto de cada riesgo. En este sentido, la entidad estatal asigna una calificación cualitativa de acuerdo con la probabilidad de ocurrencia y el impacto que podría generar la materialización de dicho riesgo sobre el proyecto. Lo anterior con el objetivo de definir si los riesgos se encuentran o no, en el área valorable<sup>10</sup>. El área sombreada en azul en el Gráfico

.....

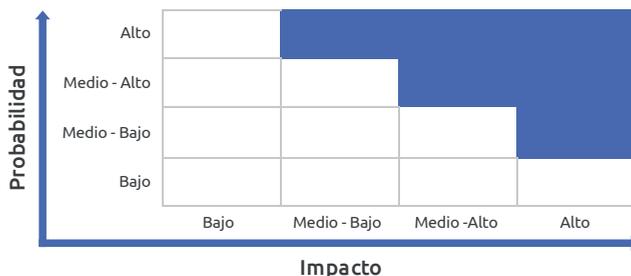
<sup>9</sup> Para la asignación de cada uno de los riesgos, las entidades estatales deberán tener en cuenta la normatividad vigente aplicable, incluyendo, pero sin limitarse, a la Ley 1508 de 2012, Ley 448 de 1998, sus consecuentes modificaciones y Decretos Reglamentarios.

<sup>10</sup> En concordancia con el Artículo 45 del Decreto 423 de 2001. COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto 423 (14, marzo, 2001). Por el cual se reglamenta parcialmente las leyes 448 de 1998 y 185 de 1995. Artículo 45.



1. Área valorable, representa el área de riesgo valorable que se tendrá en cuenta para esta metodología.

Gráfico 1. Área valorable



Fuente: Elaboración propia DGCPTN

Para los riesgos asignados a la entidad estatal o compartidos por ésta, que se encuentren clasificados dentro del área valorable, la entidad contratante deberá: i) presentar la valoración cuantitativa del mismo, utilizando las metodologías aprobadas por la DGCPTN<sup>11</sup>, y ii) proponer un Plan de Aportes destinado al FCEE con su respectivo cronograma de desembolsos, cuando la normatividad vigente así lo estipule.

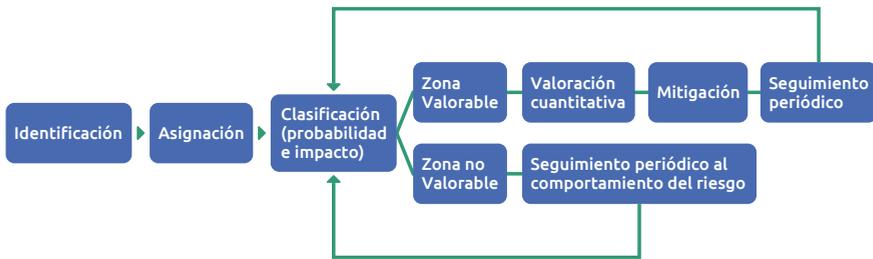
Cabe resaltar que la evaluación cualitativa (probabilidad e impacto) de los riesgos, se realiza con el objetivo de identificar cuáles de estos deben ser valorados, pero en ningún caso se configura en una limitación de la asunción del riesgo por alguna de las partes del contrato (privado o público).

Finalmente, el seguimiento periódico que determina la Ley Aplicable se convierte en uno de los pilares fundamentales para la mitigación de los riesgos que asumen las entidades estatales. Es así como resulta de gran relevancia establecer que este procedimiento se realizará durante toda la vida del contrato, pues los riesgos son dinámicos y su probabilidad e impacto puede variar de acuerdo con la ejecución del proyecto.

.....  
<sup>11</sup> En caso de no contar con metodología aplicable al riesgo que se está evaluando, de acuerdo con el artículo 51 del Decreto 423 de 2001, la entidad estatal contratante deberá proponer una metodología acorde con el riesgo del respectivo proyecto.

En conclusión, es importante que las entidades contratantes se responsabilicen del manejo de la información, para garantizar la correcta aplicación de las metodologías descritas y robustecer los insumos que se utilizan para el desarrollo estadístico de los modelos.

Gráfico 2. Gestión de riesgos



Fuente: Elaboración propia DGCPNT

## 4.2 Tipo de riesgos

Los riesgos de un contrato pueden presentarse en dos etapas asociadas con los proyectos de infraestructura: la etapa pre operativa (pre construcción y construcción), y la etapa operativa (operación y mantenimiento). En la mayoría de los casos, los riesgos asociados a la etapa pre operativa del proyecto se materializan en forma de sobrecostos, los cuales no suelen depender del tiempo como variable. Por ejemplo, el riesgo de que el valor de los predios a adquirir supere las estimaciones iniciales no depende en general del período de adquisición<sup>12</sup> sino de las características de los predios.

Por otro lado, los riesgos en la etapa operativa del proyecto dependen en general del cumplimiento de pronósticos de variables a largo plazo, por lo cual su valoración depende en general del tiempo. Un ejemplo de esto es el volumen de tráfico que circula por un corredor vial en el período estipulado en el contrato.

De acuerdo con esto, en general, los riesgos asociados a la etapa pre operativa se pueden clasificar en sobrecostos (que no dependen del tiempo) y los de

.....

<sup>12</sup> Al margen de ajustes por inflación y otros ajustes potenciales por demanda.



la etapa operativa, como riesgos de ingresos (que sí dependen del tiempo)<sup>13</sup>. El Gráfico 3 ilustra esta categorización.

Gráfico 3. Clasificación de riesgos por etapa

		<i>Dependencia del tiempo</i>	
		No	Si
<i>Etapa del proyecto</i>	Etapa Pre operativa	Corte transversal (sobrecostos)	
	Etapa Operativa		Series de tiempo (ingresos)

Fuente: Elaboración propia DGCPNT

### 4.3 Medida de riesgo

Cuando el factor de riesgo no depende del tiempo, la variable aleatoria asociada que se usa para cuantificarlo es de tipo corte transversal. Por ejemplo, si se tienen  $n$  categorías diferentes de predios homogéneos a adquirir (e.g. comercial, residencial, etc.) y  $Cantidad_i$  y  $Precio_i$  representan, respectivamente dentro de la categoría  $i$ , el número de unidades prediales y su precio promedio no presenta una dependencia directa con la variable tiempo. Entonces el costo base de adquirir los predios del proyecto se puede escribir como:

$$Costos = \sum_{i=1}^n Precio_i \times Cantidad_i$$

Por su parte, el escenario en riesgo se calcula como un percentil de la distribución de los costos dada por la ecuación anterior. Este percentil debe representar la pérdida esperada (i.e. costos inusualmente elevados o bajos), de forma que capture la ocurrencia de un evento de riesgo poco probable, pero de impacto grande y significativo.

<sup>13</sup> Esto no implica que no se puedan presentar riesgos de ingresos en la etapa pre operativa o de sobrecostos en la etapa operativa.

En el ejemplo anterior, el escenario de riesgo consiste en incurrir en costos superiores a los proyectados, por lo que el percentil de riesgo debe situarse cerca de 1. Ahora, si por simplicidad se asume que no existe correlación entre los precios y las cantidades, y si  $P_\alpha$  denota el percentil  $\alpha$  de la distribución, entonces la siguiente ecuación representa el escenario de riesgo evaluado con un percentil 95 y nivel de confianza del 95%:

$$Riesgo(Costos) = P_{0,95}(Costos) = P_{0,95} \left( \sum_{i=1}^n Precio_i \times Cantidad_i \right)$$

Por otro lado, si los ingresos dependen del período o el tiempo, entonces la variable aleatoria asociada es de tipo serie de tiempo. Por ejemplo, en proyectos viales los ingresos esperados en el período  $t$ , por recaudo de un peaje que cuenta con  $n$  categorías de vehículos diferentes, está dado por la ecuación:

$$Ingresos(t) = \sum_{i=1}^n Precio_i(t) \times Cantidad_i(t)$$

Los términos  $Precio_i(t)$  y  $Cantidad_i(t)$  corresponden, respectivamente, a la tarifa cobrada a la categoría  $i$  y al número de vehículos que pagaron el peaje, ambos medidos en el período  $t$ . El escenario de riesgo en este caso es que los ingresos futuros sean inferiores a los inicialmente proyectados, por lo cual se debe elegir un escenario en riesgo que se encuentre por debajo de la línea base de demanda inicialmente contemplada. La siguiente ecuación ilustra esta definición tomando como escenario de riesgo el percentil 5 de la distribución de probabilidad con un nivel de confianza del 95%.

$$Riesgo(Ingresos_t) = P_{0,05}(Ingresos_t) = P_{0,05} \left( \sum_{i=1}^n Precio(t)_i \times Cantidad(t)_i \right)$$

En resumen, y al margen del tipo de variable que se utilice para valorar el riesgo, la metodología busca identificar la distribución de probabilidad de la variable de riesgo, para posteriormente cuantificar el monto al que se encuentra expuesta la Entidad Estatal como consecuencia de los riesgos del proyecto que asumió en el marco del contrato.



## 4.4 Esquema metodológico

Para el cálculo del monto expuesto, la metodología supone una serie de pasos secuenciales, sin importar si la variable es de corte transversal o de series de tiempo. Este procedimiento es diferente dependiendo de la información disponible, pero a modo general puede resumirse en el siguiente gráfico.

Gráfico 4. Procedimiento general de valoración de riesgo



Fuente: Elaboración propia DGCPNT

**Determinación del tipo de variable:** Del primer paso se obtiene una variable aleatoria que puede ser de tipo corte transversal o serie de tiempo y que permite capturar en términos monetarios los eventos de riesgo definidos para el proyecto. A lo largo de este capítulo se presentaron ejemplos de estas variables de riesgo, como el valor de los predios requeridos para adelantar las obras o el volumen de tráfico que circula por un corredor vial durante un período determinado. En el primer caso, el sobre costo predial está directamente relacionado con el costo de construcción del proyecto, mientras que en el segundo ejemplo los ingresos del concesionario son una función del tráfico observado.

**Alistamiento de datos:** Comprende un levantamiento y preparación de la información relevante para modelar la variable de riesgo encontrada en el paso anterior. Por ejemplo, si el proyecto consiste en construir una calzada adicional en un corredor existente, resulta útil conocer el volumen de tráfico histórico de la calzada original para modelar la variable de tráfico de la nueva calzada. El tipo de información depende del riesgo a valorar, por lo cual las especificidades se abordarán con mayor profundidad en los siguientes capítulos de este documento.

**Modelación de las variables:** Cada riesgo cuenta con factores específicos que deben ser recogidos en la modelación. Por ejemplo, en ocasiones los

escenarios de riesgo de ingresos o costos dependen de dos o más variables<sup>14</sup>, por lo cual la metodología debe especificar el tratamiento de cada una.

**Cálculo del riesgo:** Una vez se han expresado los ingresos o costos en función de la(s) variable(s) respectiva(s) y, por tanto se tiene definida la distribución de probabilidad, el riesgo se calcula como un percentil suficientemente estresado de dicha distribución, lo cual se abordará con más detalle en las siguientes secciones.

## 4.5 Riesgos asociados con la etapa pre operativa

Los riesgos que tradicionalmente se presentan durante la etapa pre operativa de los proyectos (pre construcción y construcción), y cuya materialización determina la cuantía del sobrecosto, se clasifican en cuatro grupos fundamentales, sin perjuicio de que puedan existir más: predial, ambiental, redes y geológico. Esta sección describe los aspectos fundamentales de cada uno y el Capítulo 5 presenta la metodología de valoración para este tipo de riesgos.

### 4.5.1 Riesgo predial

El riesgo predial en proyectos de infraestructura se refiere a los efectos no esperados durante la gestión y/o adquisición de los predios que se requieren para el desarrollo del proyecto. En general, y de acuerdo con la normatividad vigente, el riesgo asociado con la gestión de los predios, que tiene implicaciones en los plazos del contrato, se le asigna completamente a la parte privada.

Sin embargo, el riesgo relacionado con los sobrecostos en la adquisición predial que se refleja en el costo del proyecto suele compartirse o asignársele a la parte pública. Históricamente, este ha sido uno de los riesgos más comunes y onerosos para el Estado.

Este riesgo se modela como una variable de corte transversal, pues una vez corregido el efecto de la inflación sobre los precios de la tierra, el sobrecosto de un predio depende más de su ubicación, atributos y potencial uso, que del periodo en el cual se compre.

.....  
<sup>14</sup> Por ejemplo, cuando existe incertidumbre tanto en los precios como en las cantidades, que eran variables necesarias para el cálculo de la medida de riesgo (sección anterior).



### 4.5.2 Riesgo ambiental

El riesgo ambiental recoge los efectos no esperados durante la gestión y/u obtención de las licencias o permisos ambientales para la ejecución del proyecto. Al igual que con el riesgo anterior, la gestión de estos permisos suele asignarse al privado y los sobrecostos derivados de los trámites y demás, suelen compartirse con el público o asignárselos al público. Dentro de este riesgo, también se enmarcan las obras adicionales que las autoridades ambientales soliciten producto de los trámites en cuestión.

Todos los efectos anteriormente descritos se resumen en sobrecostos que se asemejan a variables de corte transversal, por lo cual tienen el mismo tratamiento que el riesgo predial.

### 4.5.3 Riesgo de redes

Este riesgo se refiere a todas las interferencias, traslados, protecciones, o tratamiento que se deba realizar a las redes que se encuentran dentro del corredor del proyecto. Al igual que con el riesgo ambiental y predial, dicho tratamiento se refleja en un riesgo de sobrecosto respecto al presupuesto inicialmente contemplado. Éste también tiene el tratamiento de las variables de corte transversal.

En proyectos desarrollados anteriormente, el riesgo de redes en proyectos de infraestructura se encontraba incluido dentro del riesgo de construcción, el cual es asignado en su totalidad al privado. Sin embargo, teniendo en cuenta su complejidad e implicaciones en la ejecución de los proyectos, en algunos casos y de acuerdo con la normatividad del caso, el riesgo de sobrecostos en interferencia de redes puede ser retenido por el público o compartirse con el privado.

### 4.5.4 Riesgo geológico

El riesgo geológico es la posibilidad de que cambios en las condiciones geológicas del proyecto dificulten, impidan, modifiquen o retrasen la construcción de las obras del proyecto, incluyendo las que podrían ser catalogadas como complejas: por ejemplo, túneles, viaductos, puntos críticos, entre otros. Teniendo en cuenta la complejidad e incertidumbre de este riesgo, los sobrecostos se suelen compartir entre el público y el privado. Para la valoración de este riesgo también se considera una variable de corte transversal.

#### 4.5.5 Otros riesgos

Dentro de los proyectos de infraestructura pueden surgir otros riesgos que, si bien no se describieron anteriormente, cuentan con características similares. En este sentido, cualquier riesgo que se identifique en los contratos y se relacione con sobrecostos y, además no dependa del tiempo, tendrá el mismo tratamiento que los riesgos descritos en los numerales anteriores.

### 4.6 Riesgos asociados con la etapa operativa

La naturaleza de los riesgos en la etapa operativa del proyecto difiere de los que se presentan en la etapa pre operativa, pues las actividades son diferentes. En este sentido, es poco común que durante esta etapa aún se materialicen los riesgos de la sección anterior, aunque podría ocurrir, en algunos casos.

En su mayoría, los riesgos en esta etapa provienen típicamente de percibir ingresos inferiores a los estimados. Es decir, que el concesionario reciba menos ingresos a los esperados en la etapa de estructuración. Esto puede ocurrir por factores como disminución de la demanda (tráfico), no instalación de casetas de peaje (en el caso de infraestructura vial), no aumento de tarifas de los servicios que generan ingresos e imposición de nuevos beneficios otorgados a ciertos grupos respecto al uso del servicio cobrado (ej. tarifas diferenciales), entre otros.

#### 4.6.1 Riesgo de demanda

El riesgo de demanda se presenta cuando los ingresos reales del proyecto son menores que los esperados porque las cantidades asociadas al generador de ingresos son inferiores a lo proyectado. Por ejemplo, el riesgo de que el número de vehículos que transita por un corredor durante la vigencia del contrato resulte inferior al proyectado. Este riesgo se asocia con variables de series de tiempo.

#### 4.6.2 Riesgo de tarifas diferenciales

Este riesgo se define como la posibilidad de establecer beneficios tarifarios otorgados a ciertos usuarios de la infraestructura y que como consecuencia se disminuyan los ingresos que esperaba percibir el concesionario. Por ejemplo, si a un grupo de usuarios se le otorga una tarifa preferencial menor a la establecida por los servicios en el contrato o cuando se impone una tarifa diferencial dependiendo de la hora de utilización del servicio, entonces los



ingresos reales del proyecto disminuirían por cada individuo de este grupo que utilice la infraestructura. La modelación se discute en el capítulo relacionado con la valoración de los riesgos asociados con la etapa operativa.

#### **4.6.3 Riesgo de imposibilidad en el cobro de los mecanismos de recaudo**

Algunos proyectos de infraestructura contemplan la instalación de mecanismos de recaudo o pago para la retribución de la inversión. Los peajes en los corredores viales son un ejemplo. De este modo, el riesgo de “imposibilidad en el cobro de los mecanismos de recaudo” consiste en no instalar u operar dichos mecanismos del proyecto.

El origen de este riesgo se encuentra usualmente en la inconformidad por parte de algunos usuarios o comunidades directamente afectadas por el cobro de la tarifa, las cuales se movilizan para retrasar o impedir la instalación de los mecanismos de recaudo. Dentro de este mismo riesgo también se enmarca la imposibilidad de cobrar tarifas más altas en los mecanismos ya existentes. El impacto en los ingresos esperados se materializa durante toda la vigencia del contrato y por tanto los riesgos se valoran utilizando series de tiempo.

#### **4.6.4 Riesgo de reubicación de los mecanismos de recaudo**

En línea con lo anterior, el riesgo de reubicación se relaciona con el cambio del lugar inicial de un mecanismo de recaudo (ej. peaje), debido a inconformidades de la comunidad o por cualquier otra razón. Este riesgo consiste en la posibilidad de percibir menores ingresos si la nueva ubicación reduce la demanda y por ende los ingresos asociados.

Por ejemplo, en el caso de un peaje, el riesgo de reubicación estaría asociado con la diferencia entre la demanda proyectada en la ubicación pactada contractualmente y la demanda de la nueva ubicación. Dicha diferencia debe ser compensada al concesionario en los términos pactados contractualmente.

#### **4.6.5 Otros riesgos relacionados con ingresos**

Durante la ejecución de los proyectos, se pueden presentar otros riesgos que, si bien no están descritos anteriormente, también se relacionan con ingresos. En este sentido, y siempre y cuando cumplan con las características de una variable de serie de tiempo, su tratamiento será similar.

## Capítulo 5

# Valoración de riesgos asociados con la etapa pre operativa

---

Esta sección describe la metodología de valoración de riesgos asociados con la etapa pre operativa de los proyectos de infraestructura. Cabe resaltar que los ejemplos que se utilizan corresponden a proyectos de infraestructura vial, sin embargo, la metodología es general y aplica para otros sectores en donde las características de las variables de riesgo se puedan asemejar.

Una condición deseable para que la aplicación de la metodología de valoración de riesgos arroje resultados robustos es contar con información consolidada y confiable respecto a la ejecución de proyectos culminados. Sin embargo, puede que en algunos proyectos de infraestructura que se desarrollan en sectores donde tradicionalmente no se han desarrollado proyectos de inversión de gran envergadura, se presente dificultad para contar con información histórica consolidada en los primeros años de ejecución del proyecto.

Por lo anterior, la presente sección reconoce que pueden existir dos tipos de situaciones: 1. Cuando se cuenta con información histórica y 2. Cuando no se dispone de información histórica para modelar las variables relacionadas con los sobrecostos en los proyectos. Respecto a este último punto es responsabilidad de las entidades contratantes: i) el alistamiento preliminar de la información disponible, y ii) realizar una debida diligencia de la información que permita alimentar bases de datos completas y de calidad.

En términos generales, la valoración de riesgos asociados con la etapa pre operativa, seguirá los siguientes pasos:



**Gráfico 5. Pasos para la aplicación de la metodología de riesgos asociados con la etapa pre operativa**



Fuente: Elaboración propia DGCPNTN

### 5.1 Distribución PERT

Como se explicó en secciones anteriores, las variables de corte transversal se caracterizan por no depender del tiempo. En este sentido, y teniendo en cuenta la literatura y evidencia relevante, las variables de este tipo, relacionadas con sobrecostos en proyectos de infraestructura, se podrían asemejar a una distribución PERT<sup>15</sup>.

La función PERT es un caso particular de la función *Beta* ( $\alpha, \beta$ ), y está diseñada para pronosticar resultados en situaciones en donde la información es limitada. Así, la distribución PERT es comúnmente utilizada cuando se requiere modelar cualquier variable y se dispone, como mínimo, de ciertos valores o estimaciones para el proyecto<sup>16</sup>, tales como:  $V_{Min}$ ,  $V_{MP}$  y  $V_{Max}$  (valor mínimo, esperado o más probable y máximo)<sup>17</sup>.

En este sentido, la metodología para valorar los riesgos asociados a la etapa pre operativa de los proyectos y relacionados con variables de corte transversal, tomará como insumos principales los tres (3) parámetros mencionados anteriormente ( $V_{Min}$ ,  $V_{MP}$  y  $V_{Max}$ ). Lo anterior, independientemente del nivel de incertidumbre o información con la que se cuente.

<sup>15</sup> Garvey, Book & Covert, *Probability Methods for Cost Uncertainty Analysis*, CRC Press, 2nd edition, 2016. Erkoyuncu et al, *Uncertainty driven service cost estimation support at the bidding stage*, International Journal of Production Research, Vol. 51, 2013.

<sup>16</sup> Garvey, Book & Covert, *Probability Methods for Cost Uncertainty Analysis*, CRC Press, 2nd edition, 2016. Erkoyuncu et al, *Uncertainty driven service cost estimation support at the bidding stage*, International Journal of Production Research, Vol. 51, 2013.

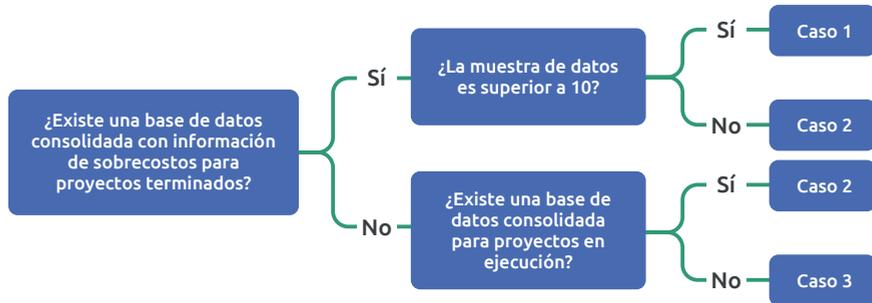
<sup>17</sup> La función PERT cuenta con un cuarto parámetro que define la curvatura de la función de distribución. El valor típico en estos tipos de proyectos es 4, lo cual produce una forma semejante a la distribución normal.

Las siguientes subsecciones explican de manera detallada, cómo estimar dichos insumos, de acuerdo con la información con la que se cuenta. En la Sección 5.3 de la metodología, se explica en detalle la calibración de la función PERT, como distribución para calcular sobrecostos.

## 5.2 Casos para la aplicación de la metodología de valoración de riesgos asociados con la etapa pre operativa

Tal y como se indicó anteriormente, esta metodología considera que el nivel de información con el que se cuenta puede variar de un proyecto a otro o de un sector a otro. Por lo anterior, la siguiente gráfica indica el procedimiento a seguir, de acuerdo con el nivel de información disponible.

Gráfico 6. Definición de casos - Árbol de decisión



Fuente: Elaboración propia DGCPTN

### 5.2.1 Caso 1 – Información histórica consolidada para proyectos terminados<sup>18</sup>

Es deseable que las entidades estatales que realizan proyectos bajo la modalidad de esquemas de participación privada como: concesión o Asociaciones Público Privadas, cuenten con una base de datos consolidada, que permita conocer el comportamiento de los riesgos en los proyectos que ya finalizaron.

<sup>18</sup> Se considera que hay información histórica consolidada, cuando se cuenta con mínimo 10 proyectos con características similares al proyecto evaluado (por ejemplo 10 proyectos terminados con información predial, ambiental o de redes). Para todos los efectos de esta metodología, se entenderá que ingresarán a la categoría de “proyectos terminados” aquellos para los cuales el riesgo evaluado haya cesado completamente (ej. Adquisición de la totalidad de los predios que el proyecto requiere).



Lo anterior, resulta relevante dado que a través de dicha información es posible identificar patrones históricos que permitan analizar el comportamiento de los proyectos que se encuentran sujetos a valorar (proyectos en ejecución).

En este sentido, las entidades estatales desde el inicio de la ejecución del proyecto deben recopilar información relevante respecto a los riesgos específicos del mismo. Lo anterior, con el fin de evidenciar el comportamiento de los sobrecostos. Por ejemplo, para el caso predial, es deseable que se cuente con una base de datos de los predios ya adquiridos, en donde se evidencie la trazabilidad del valor inicial de dicho predio (los diferentes avalúos comerciales realizados), y el valor efectivamente pagado.

Para efectos de esta metodología, este caso se utilizará únicamente en el evento en el que la entidad estatal demuestre tener una base de datos unificada<sup>19</sup> para proyectos terminados, en donde se logre verificar cada uno de los datos. De lo contrario, se deberá evaluar el caso 2 de la subsección 5.2.2, o 3 de la subsección 5.2.3.

En el caso en que se conforme la base de datos cumpliendo con los parámetros definidos por la DGCPTN, los valores mínimos, esperado, y máximo, se determinarán de la siguiente manera, para cada uno de los riesgos en los que se puedan presentar sobrecostos:

- i) **Valor mínimo:** estará determinado por el mínimo valor, en términos porcentuales, de sobrecosto con el que cuente la base de datos histórica<sup>20</sup>. En el caso en que la base de datos cuente con sobrecostos negativos, es decir ahorros, se asumirá que el valor es 0.
- ii) **Valor esperado:** estará determinado de la siguiente manera, según sea el caso:

.....

<sup>19</sup> En la página de la subdirección de Asociaciones Público Privadas, habrá una plantilla de base de datos, en donde las entidades estatales deberán ir consolidando la información con la que cuentan y enviarla con una periodicidad definida a la DGCPTN.

<sup>20</sup> En caso de contar con una base de datos lo suficientemente robusta (mínimo información para 10 proyectos), la DGCPTN, establecerá en su página web los criterios que se deberán tener en cuenta para elegir los insumos necesarios para la valoración (Ej. Tipo de predio, zona, etc).

- » Si existe un presupuesto actualizado del mismo proyecto que pueda inducir un porcentaje de sobrecostos<sup>21</sup> a utilizar en la valoración, menor que el porcentaje de sobrecosto promedio para proyectos con información, el valor esperado será:

$$V_{MP} = (30\%^{22} \left( \frac{C_I - C_E}{C_E} \right)^{23} + 70\%(V_P)) * (1 + DP)$$

- » Si existe un presupuesto actualizado del mismo proyecto que pueda inducir un porcentaje de sobrecostos a utilizar en la valoración, mayor que el porcentaje de sobrecosto promedio para proyectos con información, el valor esperado será:

$$V_{MP} = (70\%^{24} \left( \frac{C_I - C_E}{C_E} \right)^{25} + 30\%(V_P)) * (1 + DP)$$

- » Si no existe un presupuesto actualizado para el proyecto, el valor esperado será:

$$V_{MP} = (V_P) * (1 + DO)$$

iii) **Valor máximo:** estará determinado de la siguiente manera:

$$V_{Max} = \left[ \max \left( V_P; \left( \frac{C_I - C_E}{C_E} \right) \right) \right] * [1 + 3 * (\max(DP; DO))]$$

En donde,

$V_{MP}$ : corresponde al valor más probable que será utilizado en la distribución PERT.

.....

<sup>21</sup> Para todos los efectos de esta metodología, siempre que se mencione "sobrecostos", se hará referencia a porcentajes o valores positivos. En ningún caso, se tendrán en cuenta para los cálculos, porcentajes negativos. En caso de que existan, se asumirá que el valor es 0.

<sup>22</sup> En caso de considerarlo necesario, este valor podrá ser modificado por la DGCPN del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, y será publicado en la página de la Subdirección de APPs.

<sup>23</sup>  $\left( \frac{C_I - C_E}{C_E} \right)$  corresponde al sobrecosto pronosticado para el proyecto, expresado en términos porcentuales.

<sup>24</sup> En caso de considerarlo necesario, este valor podrá ser modificado por la DGCPN del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, y será publicado en la página de la Subdirección de APPs.

<sup>25</sup>  $\left( \frac{C_I - C_E}{C_E} \right)$  corresponde al sobrecosto pronosticado para el proyecto, expresado en términos porcentuales.



$V_p$ : es el promedio histórico de sobrecostos para un riesgo particular, en términos porcentuales.

$C_I$ : es el presupuesto estimado y actualizado de la actividad que da lugar al riesgo (ej. costo actualizado de la compra de predios), una vez el proyecto se encuentre en ejecución. Este valor será dinámico de acuerdo con las actualizaciones entregadas por la entidad, las cuales tienen correlación directa con el nivel de información disponible.

$C_E$ : es el costo estimado de la actividad que da lugar al riesgo (ej: costo de la compra de predios) en la fase de estructuración (valor de la subcuenta o costeo base pactado contractualmente).

$DP$ : corresponde a la desviación estándar de las dos últimas variaciones de los presupuestos actualizados de un periodo a otro, del riesgo que se está evaluando<sup>26</sup>. Para efectos del cálculo de las variaciones se tendrá en cuenta la siguiente ecuación  $\frac{C_t - C_{t-1}}{C_{t-1}}$ , donde  $t$  es el periodo más reciente.

$DO$ : es el promedio de desviaciones estándar de las dos últimas variaciones de los presupuestos actualizados de un periodo a otro ( $DP$ ), del riesgo que se está evaluando, para todos los proyectos históricos<sup>27</sup>.

Es preciso aclarar que el valor máximo se define de esta manera, con el objetivo de contar con un dato que represente la realidad de la ejecución del mismo proyecto y tenga en cuenta el comportamiento de la información histórica reportada por otros proyectos, cuando así se requiera. En este sentido, si las variaciones de los presupuestos actualizados de un periodo a otro, son muy altas, esto se reflejará en el valor máximo. Si por el contrario, estas han sido bajas, el promedio de variaciones de los presupuestos, de proyectos con información permitirá contar con una estimación conservadora.

.....  
<sup>26</sup> Usualmente la entidad contratante estima el valor de la actividad que da lugar al riesgo en diferentes momentos del tiempo, con base en la información disponible. Para contar con mínimo 2 variaciones, se debe tener información para 3 periodos (en el ejemplo de la sección 7 se especifica este cálculo).

En el caso en que no existan estimaciones suficientes, el valor que tomará  $DP$  será  $DO$ . En el caso en que  $DP = DO = 0$ , la DGCPTN, definirá los criterios iniciales para el cálculo de dicho parámetro, con base en otros proyectos del mismo o diferente sector. Lo anterior aplicará únicamente durante el tiempo en el que no existan estimaciones para  $DP$  o  $DO$ , dado que el proyecto se encuentra en su etapa inicial.

<sup>27</sup> En el ejemplo práctico se puede observar a detalle el procedimiento a seguir.

Asimismo, y teniendo en cuenta la relevancia que tiene la estimación del valor medio y el máximo dentro del resultado final, no resulta conveniente asumir un máximo fijo para todos los proyectos, dado que, si no se toman en cuenta sus particularidades, se podría sobreestimar el riesgo y arrojar estimaciones del escenario en riesgo que no se ajusten con la realidad del proyecto.

### 5.2.2 Caso 2 – Información consolidada para proyectos en ejecución

En la mayoría de los casos, las entidades estatales no cuentan con una base de datos de proyectos históricos que estén terminados. En estos casos, se debe utilizar la información de los riesgos de los proyectos en ejecución, por ser la información más actualizada con la que se cuenta<sup>28</sup>. Sin embargo, dicha información puede presentar un grado de incertidumbre que debe ser tenido en cuenta, dado que los proyectos aún no se han terminado, o el riesgo evaluado aún no ha cesado. Con el fin de incorporar el grado de incertidumbre a las estimaciones, es necesario otorgarle la misma ponderación tanto a la información del proyecto particular, como a la información disponible para los demás proyectos en ejecución.

En este sentido, el valor mínimo, esperado y máximo, se determinará tal como se describe en esta subsección.

Cabe resaltar que, para efectos prácticos, la notación será la misma que la de la subsección anterior y por tanto las definiciones de las variables se mantienen, a menos que se especifique lo contrario.

Para efectos de la aplicación del *Caso 2 – Información consolidada para proyectos en ejecución*, las siguientes variables mantendrán su notación, sin embargo, tendrán la definición que se especifica a continuación.

$V_p$ : es el promedio de sobrecostos<sup>29</sup> de proyectos en ejecución para un riesgo particular, en términos porcentuales.

.....

<sup>28</sup> En sectores diferentes a los viales, en los que se presenten los mismos riesgos de sobrecostos, se podrá utilizar la información de los proyectos viales, hasta tanto se cuente con información del proyecto específico.

<sup>29</sup> Para todos los efectos de esta metodología, siempre que se mencione “sobrecostos”, se hará referencia a porcentajes o valores positivos. En ningún caso, se tendrán en cuenta para los cálculos, porcentajes negativos. En caso de que existan, se asumirá que el valor es 0.



*DO*: es el promedio de desviaciones estándar de las dos últimas variaciones de los presupuestos actualizados de un periodo a otro (*DP*), del riesgo que se está evaluando, para todos los proyectos en ejecución<sup>30</sup>.

- i) **Valor mínimo**: estará determinado por el mínimo valor de sobrecosto para un riesgo particular con el que cuente la base de datos de proyectos en ejecución. En el caso en el que algunos proyectos presenten sobrecosto negativo (es decir, ahorros), se asumirá que el sobrecosto es 0%.
- ii) **Valor esperado**: estará determinado de la siguiente manera, según sea el caso:

- » Si existe un pronóstico de sobrecostos para el proyecto, mayor que el promedio de sobrecostos de proyectos en ejecución, el valor esperado será:

$$V_{MP} = \left( \frac{C_I - C_E}{C_E} \right) * (1 + DP)$$

- » Si existe un pronóstico de sobrecostos para el proyecto, pero este es menor que el promedio de sobrecostos de proyectos en ejecución, el valor esperado será:

$$V_{MP} = \left( \frac{\frac{C_I - C_E}{C_E} + V_P}{2} \right) * (1 + DP^{31})$$

- » Si no existe un pronóstico de sobrecostos para el proyecto evaluado, el valor esperado será<sup>32</sup>:

$$V_{MP} = V_p * (1 + DO)$$

<sup>30</sup> En el ejemplo práctico se puede observar a detalle el procedimiento a seguir.

<sup>31</sup> En el caso en que no existan estimaciones suficientes, el valor que tomará *DP* será *DO*. En el caso en que *DP* = *DO* = 0, la Dirección de Crédito Público y Tesoro Nacional, definirá los criterios iniciales para el cálculo de dicho parámetro, con base en otros proyectos del mismo o diferente sector. Lo anterior aplicará únicamente durante el tiempo en el que no existan estimaciones para *DP* o *DO*, dado que el proyecto se encuentra en su etapa inicial.

<sup>32</sup> Este caso aplica para los proyectos en estructuración, o que aún no cuentan con información disponible en etapa de ejecución.

iii) **Valor máximo:** estará determinado de la siguiente manera:

$$V_{Max} = \left[ \max \left( V_P; \left( \frac{C_I - C_E}{C_E} \right) \right) \right] * [1 + 3 * (\max(DP; DO))]$$

### 5.2.3 Caso 3 – Ausencia completa de información

Este último caso consiste en la aplicación de un panel de expertos para la definición de los parámetros  $V_{Min}$ ,  $V_{MP}$  y  $V_{Max}$ . Este caso únicamente aplicará cuando se cumplan al menos dos de los siguientes supuestos:

- a. El sector en el que se desarrollará el proyecto de concesión o APP, o el riesgo específico que se valorará, es completamente nuevo en dicha modalidad de contratación.
- b. No existe información, en ningún sector, del riesgo particular a valorar.
- c. No existe posibilidad de recolectar información histórica o de proyectos en ejecución que sea asimilable con los riesgos de otros proyectos o de otras modalidades de contratación<sup>33</sup>.

Cuando lo anterior ocurra, se podrá realizar un panel de expertos, siempre y cuando éste se realice siguiendo estrictamente el procedimiento de la metodología propuesta vigente por el Departamento Nacional de Planeación y las actualizaciones que realice la Dirección General de Crédito Público y Tesoro Nacional.

Cabe resaltar que la valoración de riesgos debe considerar los factores específicos del proyecto, por lo cual el panel de expertos deberá realizarse por proyecto y por riesgo, de manera independiente. Lo anterior con el objetivo de enfocarse en las particularidades de cada proyecto, y determinar con mayor certeza los posibles sobrecostos que se puedan presentar. Conforme a lo anterior, no serán admisibles extrapolaciones del sobrecosto arrojado por el panel de expertos, a otros proyectos.

.....

<sup>33</sup> Se entiende por proyecto asimilable, aquel que, aunque no cuente con las mismas características, cuenta con riesgos específicos en común. (ej. Riesgo predial en carreteras y riesgo predial en edificios públicos; riesgo predial en obra pública y riesgo predial en APP).



La información de panel de expertos será aplicable hasta tanto se pueda dar aplicación al *Caso 2 – Información consolidada para proyectos en ejecución*, o al *Caso 1 – Información histórica consolidada para proyectos terminados*, descritos anteriormente.

### 5.3 Calibración de la función PERT

Tal y como se mencionó anteriormente, la función PERT, es un caso particular de la función  $Beta(\alpha, \beta)$ , y es comúnmente utilizada cuando se requiere modelar una variable y se dispone de ciertos valores o estimaciones de punto para el proyecto<sup>34</sup>, como lo son en este caso los valores  $V_{Min}$ ,  $V_{MP}$  y  $V_{Max}$  (valor mínimo, más probable y máximo).

Ahora, una vez definidos los valores de  $V_{Min}$ ,  $V_{MP}$  y  $V_{Max}$  de los que tratan las subsecciones anteriores, los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , de la función  $Beta$  se calcularán de la siguiente manera:

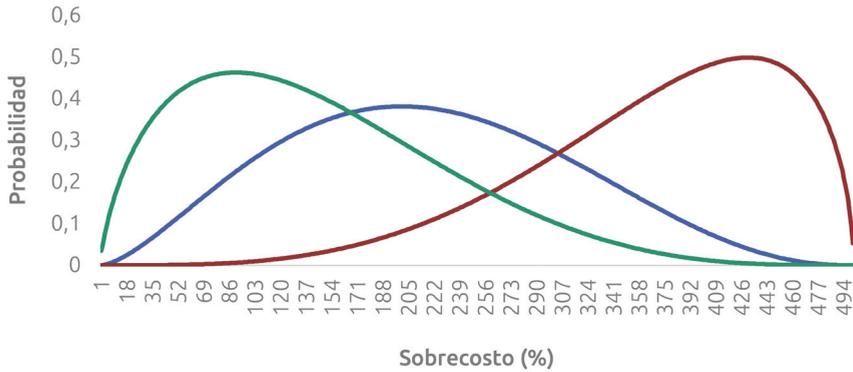
$$\alpha = \left( 4 \frac{(V_{MP} - V_{Min})}{(V_{Max} - V_{Min})} \right) + 1$$

$$\beta = \left( 4 \frac{(V_{Max} - V_{MP})}{(V_{Max} - V_{Min})} \right) + 1$$

Cabe anotar que la distribución PERT tiende a darle mayor importancia al valor esperado ( $V_{MP}$ ), por lo cual, la distribución de probabilidad asociada dependerá en gran medida de dicho valor. El siguiente gráfico ilustra este comportamiento con funciones PERT calibradas con un valor mínimo y máximo común igual a  $V_{Min} = 0\%$  y  $V_{Max} = 500\%$ , pero diferentes  $V_{MP}$ . En la gráfica siguiente, el punto máximo de cada curva corresponde al valor más probable estimado.

<sup>34</sup> Garvey, Book & Covert, *Probability Methods for Cost Uncertainty Analysis*, CRC Press, 2nd edition, 2016. Erkoyuncu et al, *Uncertainty driven service cost estimation support at the bidding stage*, *International Journal of Production Research*, Vol. 51, 2013.

Gráfico 7. Función PERT calibrada con diferentes  $V_{MP}$

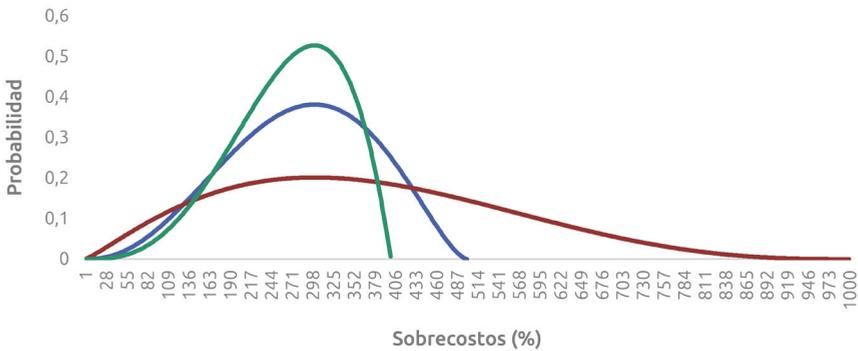


Fuente: Elaboración propia DGCPTN

Note que la función tiende a tener un sesgo hacia el valor más probable ( $V_{MP}$ ).

Ahora bien, la función principal del valor máximo estimado  $V_{Max}$  consiste en definir la dispersión de la distribución de probabilidad asociada. Lo anterior cobra sentido en la medida que se distribuye la misma probabilidad (es decir, 100%) en un rango más amplio. En el Gráfico 8. *Función PERT calibrada con diferentes  $V_{Max}$* , se ilustra lo descrito en este párrafo.

Gráfico 8. Función PERT calibrada con diferentes  $V_{Max}$



Fuente: Elaboración propia DGCPTN



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - EL CASO COLOMBIANO**

Las gráficas anteriores representan las funciones de distribución de probabilidad para una función Beta PERT, con diferentes valores máximos. Sobre esta función de distribución de probabilidad, es posible calcular el sobrecosto porcentual asociado a un percentil que refleje un escenario de riesgo.

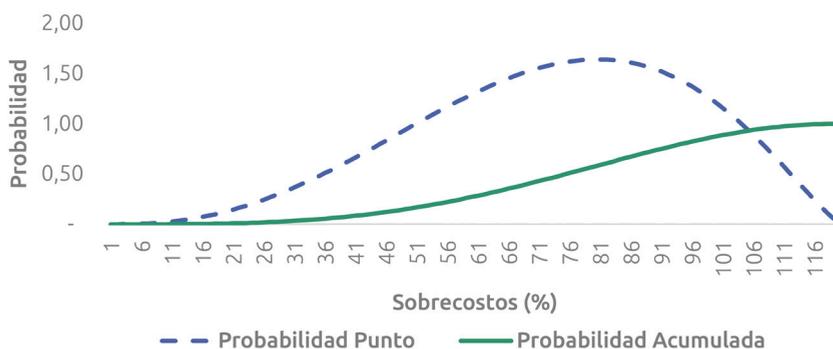
La siguiente tabla muestra un fragmento de valores generados para una PERT con valores de 0%, 80% y 120% como el mínimo, más probable y máximo, respectivamente.

**Tabla 1. Función de distribución de probabilidad PERT<sup>35</sup>**

Sobrecosto	0%	1%	2%	3%	...	...	117%	118%	119%
Probabilidad del punto	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	...	...	0.14%	0.08%	0.03%
Probabilidad Acumulada	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	...	...	99.81%	99.99%	100%

El número de puntos generados de la función debe ser equivalente al valor máximo, de forma que se alcance un nivel de granularidad suficiente para determinar el sobrecosto asociado al percentil de riesgo. La siguiente gráfica muestra la función PERT correspondiente a la tabla anterior.

**Gráfico 9. Función de distribución de probabilidad PERT**



Fuente: Elaboración propia DGCPTN

<sup>35</sup> En la sección 7 se evidencia un ejemplo completo de la tabla.

Note que la función de distribución (línea punteada) puede ser mayor que 1 cuando el sobrecosto se acerca a su valor más probable  $V_{MP}$  (en este caso igual a 80%). Sin embargo, la probabilidad acumulada (i.e. el área bajo la curva dado un valor de sobrecosto) siempre es menor que 1 (línea verde), pues representa una probabilidad.

## 5.4 Valoración de Riesgo

Con la función de distribución PERT generada en el paso anterior, el valor de sobrecosto porcentual se calcula como un percentil de dicha distribución. El percentil que se utilizará para efectos de esta valoración, dependerá del nivel de avance del riesgo o del proyecto, con el objetivo de capturar la posible incertidumbre asociada.

La siguiente tabla muestra el percentil que se deberá utilizar de acuerdo con el nivel de avance del proyecto o del riesgo valorado:

Tabla 2. Percentiles asociados al avance del riesgo del proyecto<sup>36</sup>

% Avance riesgo / proyecto	0% - 30%	31% - 60%	61%-90%	91%-100%
Percentil	95%	80%	70%	60%

En cualquier caso, se deberá utilizar como referencia el avance de las actividades asociadas con el riesgo evaluado, (ej: número de predios adquiridos / número de predios totales). En caso de no contar con el porcentaje de avance del riesgo, se usará el porcentaje de avance del proyecto.

Siguiendo con el ejemplo de la tabla anterior, si  $PERT(V_{Min}, V_{MP}, V_{Max})$  denota la función PERT con los parámetros indicados (0%, 80% y 120%), y un porcentaje de avance del 10%, entonces el percentil 95 de la distribución corresponderá a un sobrecosto que se ubica en el rango entre 106% y 107%, como lo ilustra la siguiente tabla.

.....

<sup>36</sup> Los porcentajes de esta tabla aplicarán hasta tanto la Dirección General de Crédito Público y Tesoro Nacional considere lo contrario. Asimismo, en la medida en que se recolecte información de los proyectos, estos porcentajes se evaluarán conforme la información histórica de materialización de los riesgos refleje que se debe asumir un mayor o menor percentil. Lo anterior está directamente relacionado con el escenario de riesgo.



Tabla 3. Estimación percentil 95

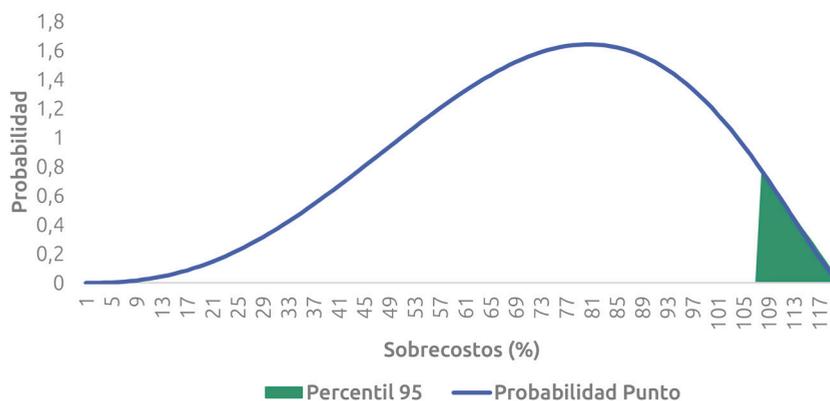
Sobrecosto	0%	1%	...	106%	107%	...	118%	119%
Probabilidad del punto	0.0%	0.0%	...	85.7%	79.6%	...	8.5%	3.5%
Probabilidad acumulada	0.0%	0.0%	...	94.3%	95.1%	...	99.9%	100%

El valor del sobrecosto del escenario de riesgo estará dado por los datos más cercanos al punto donde se ubica el percentil en la probabilidad acumulada. En este caso, en donde los valores más cercanos a 95% son 94.3% y 95.1%, se promediarán los valores, para obtener el porcentaje de sobrecosto. En la tabla anterior, este cálculo corresponde a:

$$\text{Sobrecosto}(\%) = \frac{106\% + 107\%}{2} = 106.5\%$$

Finalmente, en términos monetarios el valor del sobrecosto total se calcula multiplicando el sobrecosto porcentual por el valor estimado inicial (en este caso en estructuración) o el costo inicial de la actividad asociada al riesgo, utilizado previamente ( $C_E$ ). Por ejemplo, si  $C_E = \$1,200$  millones, la valoración de riesgo de sobrecostos es igual a  $\$1,200 \times 106.5\% = \$1,278$  millones. La siguiente figura ilustra el procedimiento descrito.

Gráfico 10. Percentil 95 de la distribución



Fuente: Elaboración propia DGCPTN

## Capítulo 6

# Valoración de riesgos asociados con la etapa operativa

---

Esta sección describe la metodología de valoración de riesgos asociados con la etapa operativa de los proyectos de infraestructura. Cabe resaltar, al igual que en el capítulo anterior, que los ejemplos que se utilizan corresponden a proyectos de infraestructura vial, sin embargo, la metodología es general y aplica para otros sectores en donde las características de las variables de riesgo se puedan asemejar.

Para la aplicación de esta metodología, es particularmente importante contar con datos confiables y suficientes. Lo anterior, teniendo en cuenta que los modelos de proyección, se basan en información histórica, por tanto, entre mejor se encuentre construida la serie de datos, mejores resultados predictivos arrojará el modelo. Sin embargo, en proyectos de infraestructura totalmente nuevos (*green field*), es normal no contar con información suficiente del sector en los primeros años de ejecución del proyecto.

Por lo anterior, y al igual que en el caso de la valoración de riesgos en etapa pre operativa, la presente metodología reconoce que en ocasiones no se dispone de información histórica para modelar las variables aleatorias. Sin embargo, es responsabilidad de las entidades contratantes: i) el alistamiento preliminar de la información disponible, y ii) realizar una debida diligencia de la información que permita alimentar bases de datos completas y de calidad.

En términos generales, la metodología de valoración de riesgos asociados a la etapa operativa, consiste en la aplicación de un modelo econométrico, con el objetivo de obtener proyecciones de demanda a largo plazo, con base en i)



la información existente, y ii) un escenario de riesgo determinado a partir de los resultados arrojados por el modelo. Así mismo, se contempla el caso de no poder realizar un modelo econométrico, por no contar con la información suficiente. Siendo así, se tendrá en cuenta un escenario de riesgo proyectado, con base en información disponible de otras iniciativas del sector, del proyecto particular o del riesgo en específico. Las siguientes secciones explicarán en detalle el procedimiento a seguir en cada caso.

## **6.1 Riesgo de demanda**

### **6.1.1 Caso 1. Información histórica disponible y adecuada**

Esta sección presenta la aplicación de la metodología a un proyecto vial en donde se cuenta con información histórica disponible: series históricas mensuales para el tráfico (i.e. la variable de demanda del proyecto) en el mismo corredor del proyecto. Se entiende que existe información histórica disponible y adecuada cuando se cuenta con un mínimo de cinco años (equivalente a 60 meses) consecutivos de información contados hacia atrás, a partir del mes anterior al mes de valoración, para cada categoría que se espera pronosticar<sup>37</sup>.

Si bien las categorías de vehículos de peaje (por ejemplo, categoría I o II) constituyen series separadas que presentan diferencias, para los ejemplos que se mencionarán a lo largo del documento, se asume que la variable de demanda es solamente el tráfico de automotores ordinarios para una categoría. Es importante aclarar que la aplicación de la metodología en un proyecto real debe contemplar la modelación de la totalidad de las categorías con las que cuenta el peaje o corredor y para las que exista información desagregada. A continuación, se describen los pasos que se deberán tener en cuenta en la valoración.

#### **6.1.1.1 Alistamiento de datos e identificación de variables explicativas**

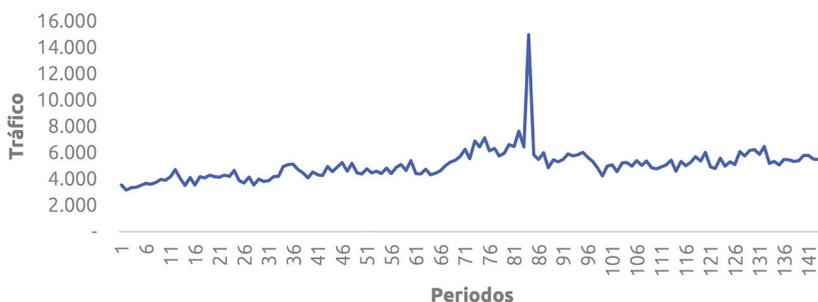
Para la aplicación de esta metodología, es fundamental hacer un análisis y limpieza previa de los datos con los que se cuenta. Lo anterior, con el objetivo de estimar un modelo “limpio”, sin mayores datos atípicos que no puedan ser

.....  
<sup>37</sup> En cualquier caso, si se cuenta con datos superiores a 60 meses, se deberá utilizar toda la senda histórica disponible.

explicados<sup>38</sup>, y que puedan afectar los resultados. Asimismo, además de la variable dependiente (demanda de tráfico), es necesario encontrar algunas variables que puedan explicar en menor o mayor medida el comportamiento del tráfico, y garantizar el alistamiento de estos datos con el fin que sean adecuados y confiables.

- i) **Identificación de la variable dependiente del modelo:** Esta variable corresponde a la demanda del proyecto. Para este caso, la medida de demanda corresponde al número de vehículos de una determinada categoría que transitan mensualmente por un peaje determinado, aun cuando la variable de demanda también puede hacer referencia, en otros casos, al número de pasajeros que utilizan un tipo de sistema de transporte o el número de toneladas (o cualquier otra medida) de carga que transita por un corredor férreo o fluvial. Para este ejemplo particular (vías), en la medida de lo posible, se espera que la serie de tráfico tenga un comportamiento regular a lo largo del tiempo. Sin embargo, teniendo en cuenta las características de las carreteras en el país, y demás condiciones coyunturales, resulta normal que en algunos meses se presenten alzas o caídas atípicas que no siempre logran ser explicadas con la información disponible, aunque suelen relacionarse con distintos eventos o situaciones del contexto específico del proyecto. Un ejemplo de este caso se observa en el Gráfico 11. *Serie de demanda de tráfico original*.

Gráfico 11. Serie de demanda de tráfico original



Fuente: Elaboración propia DGCPN

<sup>38</sup> Se entiende como cambios explicados, aquellos que tengan relación con algún hecho específico sobre el contexto del proyecto.



Cuando lo mencionado anteriormente ocurre, y se identifican posibles candidatos a ser datos atípicos, se recomienda confirmar dicha información, utilizando un método estadístico de detección de *outliers*.

Para efectos de esta metodología, el método de detección de datos atípicos que se utilizará, será el de determinar la puntuación  $Z$ . En términos generales, este método consiste en identificar que valores de la serie se encuentran por fuera del intervalo de confianza, asumiendo que los datos se comportan como una distribución normal. En este sentido, el cálculo de la puntuación  $Z$  se realiza de la siguiente manera:

$$Z = (x - \mu) / \sigma$$

En donde  $x$  es el dato de un mes específico,  $\mu$  y  $\sigma$  son la media y la desviación estándar de la serie, respectivamente.

Ahora bien, de acuerdo con la evidencia teórica se considera que un dato es atípico, si este toma un valor de  $Z > 3$  o  $Z < -3$ .

De acuerdo con lo anterior, en el caso en el que dicho dato atípico no pueda ser explicado por un evento puntual o específico, es recomendable sustituirlo, por un dato equivalente al promedio de crecimiento presentado el mismo periodo, para los años anteriores. Lo anterior, permitirá contar con un modelo que represente adecuadamente el comportamiento normal de la serie de datos, sin que los parámetros estimados sufran distorsiones debido a datos anómalos. Un ejemplo de este resultado se observa en el Gráfico 12. *Serie de demanda de tráfico – extrapolando dato atípico*.

**Gráfico 12. Serie de demanda de tráfico – extrapolando dato atípico**



Fuente: Elaboración propia DGCPNT

Si por el contrario, la serie de tráfico presenta altas o bajas considerables, que se pueden explicar por un evento específico<sup>39</sup> (que pueda haber generado un comportamiento atípico de la serie), es recomendable conservar la totalidad de los datos, e incluir dentro del modelo una variable *dummy* (que toma los valores de 0 o 1) que capture este efecto (en la sección 7 de este documento, se presenta este caso). Dependiendo de la forma en que se incorporen en el modelo, este tipo de variables dicotómicas permiten: i) marcar eventos específicos que tengan asociada un alza o descenso inusual observado durante un momento específico o un período de tiempo acotado (más o menos extenso); ii) incluir en el modelo una variación significativa del volumen medio de la demanda histórica o iii) considerar una alteración significativa de la tendencia general de crecimiento de la serie, en caso que este tipo de variación se observe desde un momento del tiempo en adelante y las variables independientes no logran explicarlo adecuadamente.

ii) **Identificación de las variables independientes del modelo**<sup>40</sup>: Teniendo en cuenta que se plantea la implementación de un modelo econométrico, es necesario identificar las posibles variables que expliquen el comportamiento de la variable de demanda. El objetivo de estas variables es robustecer el modelo, con el fin de estimar la tendencia futura de demanda del proyecto (i.e. el caso base de la demanda). En principio, como mínimo una de las variables independientes, deberá ser macroeconómica o financiera que cuente con proyecciones futuras disponibles para consulta de las entidades contratantes. En este sentido, y para el caso de demanda de tráfico, existe evidencia empírica que comprueba que el PIB<sup>41</sup> real mensual es una variable que explica el comportamiento del tráfico en las carreteras del país<sup>42</sup>.

.....  
<sup>39</sup> Como por ejemplo derrumbes, apertura de una nueva calzada, o cualquier otro factor particular asociado al contexto del proyecto.

<sup>40</sup> Todas las variables independientes deberán encontrarse en los mismos términos temporales y en la misma unidad de medida. Es decir, dado que se utilizará PIB real, las tarifas y las demás variables explicativas que apliquen, deberán estar en los mismos términos. Por facilidad en los cálculos, la serie de PIB se trabajará en millones.

<sup>41</sup> En algunos casos podría resultar conveniente estresar dicha variable, con el objetivo de capturar las posibles desviaciones en las estimaciones de la variable macroeconómica o financiera. En todo caso, esto será definido por la DGCPNTN.

<sup>42</sup> Para los otros sectores que tengan proyectos de infraestructura, la variable macroeconómica que se utilizará, se publicará en la página de la Subdirección de APP's del Ministerio de Hacienda y Crédito Público. En cualquier caso, la entidad contratante podrá proponer las variables explicativas que considere



Es importante mencionar que, el uso de otras variables explicativas, con base en las particularidades del proyecto, tales como la tarifa, o el comportamiento del precio del petróleo, podrían resultar relevantes para explicar la demanda de ciertas series. Sin embargo, es fundamental, como se mencionó anteriormente, contar con información histórica y además, información proyectada para lograr incluir estas variables en el análisis. Para lo anterior, resulta relevante que la información histórica y las proyecciones de las variables a incluir provengan de fuentes fidedignas, reconocidas y confiables. De este insumo proviene el éxito en los resultados de la metodología.

Para el caso particular de las tarifas (en donde se debe contar con información histórica y futura), es de esperarse que exista una relación inversa entre el tráfico y la tarifa. No obstante, por las particularidades de algunos proyectos, es probable que esta relación no siempre se observe o no sea relevante. Por lo anterior, en cualquier caso, se deberá correr un modelo contemplando las tarifas, siempre y cuando la inclusión de estas dé como resultado, estimadores con el signo esperado (negativo)<sup>43</sup>.

Asimismo, en algunos casos, y dado que no todos los meses cuentan con la misma cantidad de días hábiles, la incorporación de la proporción días hábiles/ días totales del mes, podría presentar resultados significativos en el modelo econométrico, por lo cual se debería incluir siempre y cuando los resultados estén acorde con lo esperado.

En los demás casos, se deberán omitir las variables que no cuentan con el signo esperado o que no resultan significativas, y correr el modelo, mínimo, con la variable macroeconómica elegida. Cabe aclarar que, para la aplicación del modelo, todas las variables deben encontrarse en los mismos términos y con la misma periodicidad. Es decir, en el caso de utilizar la variable macroeconómica PIB real mensual, las tarifas y las demás variables explicativas a las que haya lugar, deben estar en términos reales y con periodicidad mensual.

.....

pertinentes, siempre y cuando se demuestre que dichas variables mejoran la estimación del modelo, en términos de significancia de los estimadores (p valor o t estadístico) y del R2 ajustado.

<sup>43</sup> Por la ley de oferta y demanda, es de esperarse que si el precio de un bien o servicio aumenta, la demanda de este disminuya. Esto aplica para todos los casos, excepto tarifas diferenciales, en donde la tarifa no necesariamente estará relacionada con la demanda.

Finalmente, en caso de contar con una variable que se considera relevante, y con información adecuada y suficiente, esta se podrá incluir como variable explicativa dentro del modelo, siempre y cuando, en la regresión se demuestre su conveniencia, en términos de significancia<sup>44</sup>, signo esperado<sup>45</sup>, y ajuste<sup>46</sup> del modelo.

### 6.1.1.2 Suavización y transformación de la serie

Teniendo en cuenta que se trabajará con datos mensuales, y que cada mes cuenta con un número de días diferente, es recomendable utilizar la serie en términos de tráfico promedio diario (TPD). Es decir, se recomienda dividir el tráfico, por el número de días de cada mes.

Ahora bien, las series de demanda podrían presentar un comportamiento volátil que dificulte la interpretación y ajuste de un modelo econométrico. En este sentido, resulta importante suavizar los datos, con el objetivo de eliminar oscilaciones que pudieran generar estimadores incorrectos. No obstante, si bien es importante suavizar los datos, una suavización que contemple más de tres periodos hacia adelante y hacia atrás, podría significar una pérdida de información importante para la estimación del modelo.

Por lo anterior, y para efectos de esta metodología, se utilizará el promedio móvil de la siguiente manera:

Si  $Y'_t$  corresponde al valor de la serie mensual, en términos de TPD, de la variable de demanda en el período  $t$ , entonces se obtiene la serie suavizada  $Y_t$  de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Y_t = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{4} (Y'_{t-2} + Y'_{t-1} + Y'_t + Y'_{t+1}) + \frac{1}{4} (Y'_{t-1} + Y'_t + Y'_{t+1} + Y'_{t+2}) \right]$$

<sup>44</sup> Es deseable que las variables sean significativas (p valor o t estadístico) al 80% o 90% mínimo. Sin embargo, en ningún caso se aceptará una variable con un nivel de significancia inferior al 50%.

<sup>45</sup> Al incluir algunas variables, intuitivamente se esperaría que presentaran algún signo específico. Por ejemplo, es de esperarse que, si se presenta un aumento de tarifas, la demanda de vehículos que transitan por esa vía disminuya si se cuenta con otras opciones de viaje. Por lo anterior, si se incluye alguna variable explicativa en el modelo, debe tener el signo esperado, o de lo contrario no se deberá tener en cuenta.

<sup>46</sup> Se considera que un modelo es mejor que otro, cuando el  $R^2$  ajustado es superior. Sin embargo, la significancia de las variables y su signo esperado tendrán mayor relevancia que el ajuste del modelo, al momento de elegir las variables definitivas con las que se contará.



En este sentido, luego de suavizar la serie, se pierden los dos primeros valores y los últimos dos de la serie original. El Gráfico 13, muestra un ejemplo.

**Gráfico 13. Serie original vs serie suavizada**



Fuente: Elaboración propia DGCPNTN

Note que con la serie suavizada se pierden los valores de los períodos 1 y 2, y 167 y 168 de la serie original<sup>47</sup>.

### 6.1.1.3 Modelo econométrico y proyección de la línea base de la demanda futura

La proyección de la línea base futura, se realiza mediante un modelo econométrico cuyas variables independientes son las variables identificadas en la sección 6.1.1.1, y la dependiente es la variable de demanda del proyecto. Todas las variables de la serie se trabajarán considerando sus diferencias interanuales (esto es,  $t - 12$ ) para evitar el problema de regresiones espúreas<sup>48</sup>. Asimismo, y en función de una mayor rigurosidad teórica, se trabajará con un modelo log-log en diferencias, con el fin de realizar las proyecciones necesarias.

Esta forma funcional, log – log en diferencias, reconoce varios factores que se explican a continuación: en primer lugar, que el tráfico no puede crecer indefinidamente en función lineal del PIB y las demás variables explicativas, sino que cada corredor presenta límites naturales al número posible de vehi-

<sup>47</sup> Se asume que para efectos del ejemplo gráfico el número de datos históricos disponibles es de 168.

<sup>48</sup> Regresión que arroja estimadores muy altos y aparentemente significativos, pero que en realidad no explica el comportamiento de la variable dependiente, dado que sus estimadores son sesgados e incorrectos.

culos que pueden transitar por allí. En segundo lugar, soluciona el problema, ya mencionado, de una posible regresión espuria que proyecte con base en la tendencia y no en los datos reales de tráfico. Finalmente, de acuerdo con la evidencia teórica y empírica (ver, por ejemplo, Oum, 1989), la forma funcional de modelos log-log en diferencias, presentan mejores resultados que modelos lin-log (lineal – logaritmo), o lin – lin (lineal).

Conforme a lo anteriormente expuesto, los propósitos de esta subsección son: i) pronosticar la línea base del tráfico futuro, y ii) a partir de allí encontrar una distribución del error de predicción que será utilizado en los siguientes pasos para calcular un escenario en riesgo.

En este orden, el modelo econométrico estará definido de la siguiente manera:

» **Variable dependiente:** la diferencia del logaritmo natural de la serie de tráfico histórica suavizada entre los periodos  $t$  y  $t-12$  ( $\ln(Y_t) - \ln(Y_{t-12})$ ) será la variable dependiente de la regresión lineal.

» **Variables Independientes:** en principio, las variables explicativas<sup>49</sup>, serán:

**PIB:** diferencias del logaritmo natural del PIB, ( $\ln(PIB_t) - \ln(PIB_{t-12})$ ),

**Tarifas:** diferencias del logaritmo natural de las tarifas ( $\ln(tarifas_t) - \ln(tarifas_{t-12})$ ), y

**Días hábiles / Días totales:** diferencias del logaritmo natural de la proporción de días hábiles sobre días totales en el mes

$$\left( \ln\left(\frac{\text{días hábiles}_t}{\text{días totales}_t}\right) - \ln\left(\frac{\text{días hábiles}_{t-12}}{\text{días totales}_{t-12}}\right) \right).$$

Así, el modelo econométrico que recoge estas consideraciones se describe con la siguiente ecuación:

.....

<sup>49</sup> Todos los modelos deben estimarse teniendo en cuenta como mínimo estas variables. En caso que las tarifas no resulten con el signo esperado (negativo), independientemente de su grado de significancia, deberán omitirse. Excepcionalmente, para el caso de tarifas diferenciales, el cual se describe más adelante, el signo no constituye un factor para eliminar la variable, únicamente se tendrá en cuenta la significancia, para eliminar o mantener la variable. En el caso que la proporción de días hábiles no resulte significativa, se eliminará, independientemente de su signo. Todas las depuraciones del modelo deben hacerse variable por variable. En ningún caso se deberán omitir todas las variables al tiempo.



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - EL CASO COLOMBIANO**

$$\begin{aligned}\hat{Y}_t &= \ln(Y_t) - \ln(Y_{t-12}) \\ &= \beta_0 + \beta_1 \cdot (\ln(PIB_t) - \ln(PIB_{t-12})) + \beta_2 \cdot (\ln(tarifas_t) - \ln(tarifas_{t-12})) \\ &\quad + \beta_3 \cdot \left( \ln\left(\frac{\text{días hábiles}_t}{\text{días totales}_t}\right) - \ln\left(\frac{\text{días hábiles}_{t-12}}{\text{días totales}_{t-12}}\right) \right) + \varepsilon_t\end{aligned}$$

Y si se ha definido una variable *dummy*,  $D_i$ , para considerar un evento que ocurrió en el mes  $i$ , ésta entrará al modelo con valor  $D_i = 1$  para el mes  $i$  y  $D_j = 0$  para los restantes meses  $j$ . Por lo tanto en la ecuación del modelo anterior, se deberá agregar como diferencia interanual ( $D_i - D_{i-12}$ ) multiplicada por un parámetro  $\beta_4$ .

De acuerdo con lo anterior, los resultados de la regresión pueden arrojar algunos escenarios tales como los indicados en las siguientes tablas.

Tabla 4. Posible signo de los parámetros

Variable explicativa - Signo	Positivo	Negativo
$\beta_1$ - PIB	Esperado	No esperado
$\beta_2$ - Tarifa	No esperado	Esperado
$\beta_3$ - Proporción días hábiles	El signo no es relevante	El signo no es relevante

Tabla 5. Posible significancia de los parámetros

Variable explicativa - Significancia	P Valor < 0.5	P Valor > 0.5
$\beta_1$ - PIB	Deseable	No Deseable
$\beta_2$ - Tarifa		
$\beta_3$ - Proporción días hábiles		

La significancia de los parámetros, estará determinada por el  $t$  estadístico o por el P valor de la regresión. En este sentido, resulta deseable que los estimadores sean significativos al 80% o superior. Sin embargo, teniendo en cuenta algunas limitaciones que podrían presentar las series valoradas, es posible que la significancia en algunos casos sea inferior al porcentaje deseado sin que esto implique que el modelo no sea adecuado. En cualquier caso, el mínimo aceptado de significancia, no podrá ser inferior al 50%.

Con base en lo anterior, se definirá la manera en la que se proyectará la línea base de cada una de las series de demanda con las que se cuenta. Esto, con el objetivo de contar con proyecciones adecuadas, y con variables explicativas, que realmente estén en línea con el comportamiento de la variable de demanda.

En el caso que la variable explicativa macroeconómica o financiera (en este caso el PIB), resulte con el signo esperado, y con significancia igual o superior al 50%, se utilizará el modelo estimado para hacer las proyecciones de línea base, por permitir la mejor predicción disponible. En el caso que dicha variable no tenga el signo esperado (positivo) o no tenga un grado de significancia de al menos el 50%, se aceptará que la variable explicativa PIB, no influye en la regresión, por lo cual se debe utilizar para la proyección de la línea base, el promedio de los últimos 12 meses de la variable de demanda. Es decir, se asume que la proyección será el promedio de los últimos 12 datos de la serie suavizada  $Y_t$ .

Para el caso de la variable explicativa Tarifa, esta se incluirá dentro del modelo, si y solo si, los resultados de la regresión arrojan que dicha variable cuenta con el signo esperado (negativo), independientemente de su grado de significancia. En este sentido, si luego de estimar la regresión, la tarifa no arroja el signo esperado, se deberá reestimar el modelo omitiendo esta variable<sup>50</sup>.

Finalmente, las variables proporción de días hábiles y las demás variables explicativas que se decida incluir, se utilizarán únicamente en el caso en que se demuestre que su inclusión mejora el modelo versus su no inclusión<sup>51</sup>. Para verificar esto, se deberán realizar y presentar los dos modelos econométricos y analizar el resultado del  $R^2$  de cada uno y los respectivos  $t$  estadísticos de los estimadores.

A manera de ejemplo ilustrativo, en la Tabla 6 se evidencian los resultados de un modelo econométrico y la proyección de la línea base futura, para una serie cualquiera<sup>52</sup>.

.....

<sup>50</sup> Para el caso del riesgo de tarifas diferenciales que será explicado más adelante, el signo de la tarifa no será relevante. Es decir, únicamente se eliminará si su significancia no es mayor a 50%.

<sup>51</sup> Se considera que el modelo ha mejorado, si el  $R^2$  ajustado aumenta y además los estimadores son significativos al menos al 50%.

<sup>52</sup> En la sección 7 de este documento, se encuentra un ejemplo paso a paso.



Tabla 6. Resultados modelo econométrico

Variable	Coficiente	Significancia P
$\beta_0$ - Constante	-0,0698 <sup>53</sup>	0,19
$\beta_1$ - PIB	4,0963	0,00
$\beta_2$ - Tarifa	1,4998	0,10
$\beta_3$ - Proporción días hábiles	0,3321	0,37

Los resultados de este ejemplo arrojan que la tarifa no presenta el signo esperado (negativo). Por tanto, siguiendo con lo indicado en esta subsección, se debe reestimar el modelo, sin tener en cuenta la variable Tarifa<sup>54</sup>, tal como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados reestimación modelo econométrico

Variable	Coficiente	Significancia P
$\beta_0$ - Constante	-0,0536	0,32
$\beta_1$ - PIB	3,8138	0,00
$\beta_3$ - Proporción días hábiles	0,3591	0,35

Al reestimar el modelo, los resultados arrojan que las variables PIB y proporción días hábiles cumplen con los criterios descritos en la Tabla 4. Signo de los parámetros y Tabla 5. Significancia de los parámetros. Por lo cual, se continua con la aplicación de la metodología únicamente con estas dos variables explicativas.

Es importante recordar que dado que el modelo es log-log en diferencias, se debe realizar una transformación para estimar la demanda en niveles y continuar con la proyección en términos de TPD. Para esto, la fórmula que se debe utilizar para proyectar la línea base de demanda de este ejemplo, en niveles, es<sup>55</sup>:

.....

<sup>53</sup> En todos los casos, se sugiere un máximo de 4 decimales.

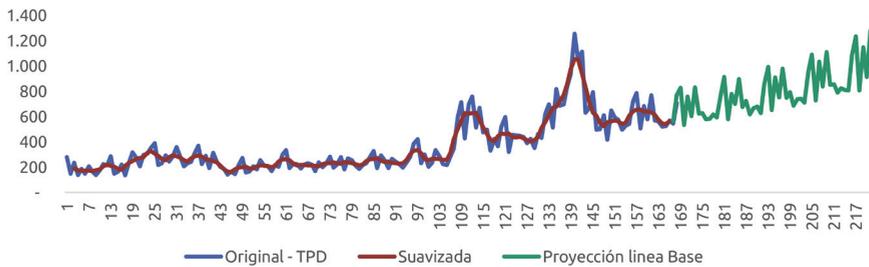
<sup>54</sup> Si el proyecto tiene contemplado un incremento de la tarifa, de manera sustancial en algún momento del tiempo, para efectos de la proyección de la línea base de demanda, no se contemplarán dichos incrementos, dado que estos se tendrán en cuenta al momento del cálculo de los ingresos.

<sup>55</sup> Cabe aclarar que en el caso en el que existan más variables explicativas, se deberán incluir en la fórmula correspondiente.

$$\widehat{Y}_t = e^{(\beta_0 + \beta_1 * (\ln(PIB_t) - \ln(PIB_{t-12})) + \beta_2 * (\ln(\frac{\text{días hábiles}_t}{\text{días totales}_t}) - \ln(\frac{\text{días hábiles}_{t-12}}{\text{días totales}_{t-12}}))} * Y_{t-12}$$

En este sentido, se proyecta la línea base de demanda, tal como se refleja en el Gráfico 14.

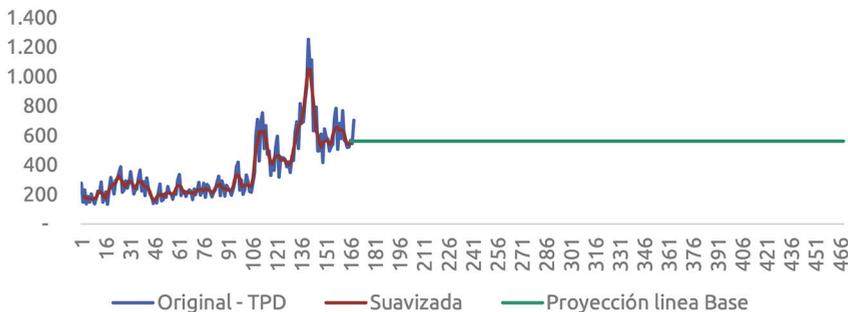
Gráfico 14. Línea base de demanda (mensual)



Fuente: Elaboración propia DGCPTN

Tal como se mencionó anteriormente, en los casos excepcionales en que el PIB o la variable macroeconómica o financiera utilizada no resulten con el signo esperado, no se utilizará el modelo econométrico, y por el contrario se proyectará la demanda con base en el promedio de los últimos 12 datos de la serie suavizada  $Y_t$ . En casos excepcionales, la DGCPTN del Ministerio de Hacienda podrá definir otro criterio para realizar la proyección en estos casos. Lo anterior se observa en el Gráfico 15.

Gráfico 15. Línea base de demanda con promedio de los últimos 12 meses



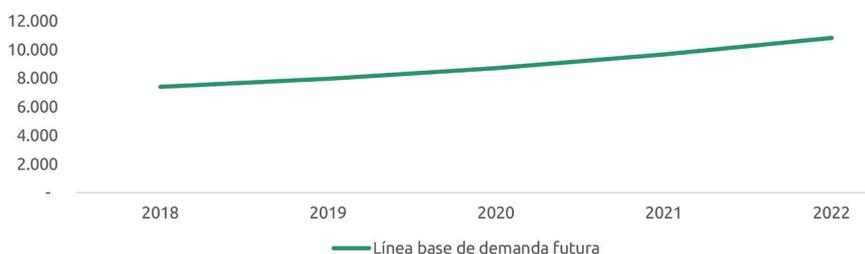
Fuente: Elaboración propia DGCPTN



#### 6.1.1.4 Transformación de la serie en datos anuales

Luego de contar con la proyección de tráfico en términos mensuales y con el objetivo de calcular proyecciones anuales<sup>56</sup>, se transformará la serie en datos anuales de tráfico. Un ejemplo de la transformación del Gráfico 14. *Línea base de demanda (mensual)*, se observará similar al Gráfico 16. *Línea base de demanda futura anual*. Para el caso del Gráfico 15. *Línea base de demanda con promedio de los últimos 12 meses*, la proyección continuará siendo constante, pero en este caso, en términos anuales.

Gráfico 16. Línea base de demanda futura anual



Fuente: Elaboración propia DGCPTN

#### 6.1.1.5 Ajuste de riesgo I: Error de estimación

El objetivo del Ajuste de riesgo I, es elegir un escenario en riesgo posterior a la estimación de la línea base de demanda futura. Lo anterior, partiendo de la premisa que, para el cálculo del valor contingente, se debe contar con un escenario por debajo del escenario base que represente las expectativas de riesgo en el proyecto.

En este sentido, el Ajuste de riesgo I se traduce en un desplazamiento hacia abajo de la proyección de demanda base ( $\hat{Y}_t$ ) estimada en las secciones 6.1.1.3, en un porcentaje equivalente a un percentil<sup>57</sup> del error absoluto de predicción de estimación del modelo econométrico calculado en la sección 6.1.1.3.

.....

<sup>56</sup> La proyección anual será la suma del tráfico de 12 meses. Cabe resaltar que en este punto la demanda aún se encuentra en términos de tráfico diario, por lo que más adelante se realizará una transformación adicional. En la sección 7 de este documento se encuentra un ejemplo con el paso a paso práctico.

<sup>57</sup> El valor del percentil a utilizar, estará definido en la página web de la subdirección de APP's del Ministerio de Hacienda y Crédito Público.

A continuación se reflejan las ecuaciones de este procedimiento. A modo ilustrativo se realiza el ajuste con un percentil 95 de los errores del modelo econométrico:

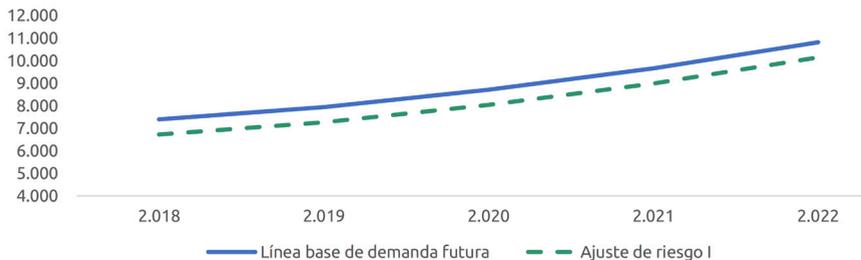
$$|\varepsilon_t| = |Y_t - \hat{Y}_t|$$

Es decir, para  $t = 1, \dots, T$  se calcula la serie de los errores absolutos y  $|\varepsilon_t| = \{|\varepsilon_1|, |\varepsilon_2|, \dots, |\varepsilon_T|\}$  se obtiene la nueva senda de proyección, la cual incluye el efecto del Ajuste de riesgo I:

$$Y_t^{[1]} = \hat{Y}_t - P_{95}(|\varepsilon_t|)$$

Donde  $P_{95}(|\varepsilon_t|)$  denota el percentil 95 del error absoluto y  $Y_t^{[1]}$  denota la serie de tráfico una vez aplicado el primer ajuste de riesgo. En el caso en que al realizar el Ajuste de Riesgo I, el dato para dicho periodo sea negativo, se aplicará el criterio definido por la DGCPTN. El Gráfico 17, refleja ilustrativamente lo descrito en esta subsección:

Gráfico 17. Ajuste de Riesgo I



Fuente: Elaboración propia DGCPTN

Nótese que el primer año (2018) corresponde al último dato real disponible (suavizado). En este sentido, es de esperarse, que el Ajuste de riesgo I, sea una línea paralela inferior a la línea base de demanda estimada en las subsecciones anteriores.

Por otro lado, cuando la línea base  $\hat{Y}_t$  proviene del promedio de los últimos 12 meses de la serie  $Y_t$ , no se realiza Ajuste de riesgo I, pues ésta en sí misma recoge el escenario de riesgo de que el proyecto no tenga crecimientos o decrecimientos en el futuro. En este sentido, se tiene  $Y_t^{[1]} = \hat{Y}_t$ .



### 6.1.1.6 Ajuste de riesgo II: cambios estructurales proyectados<sup>58</sup>

Las construcciones de algunos proyectos en Colombia implican nuevas especificaciones técnicas, que redundan en ahorros en costos de transporte o tiempos de desplazamiento y a su vez atraen aumentos considerables de demanda. Dichos aumentos pueden ser denominados “*cambios estructurales*”<sup>59</sup> que de ninguna manera podrían ser capturados mediante un modelo econométrico que únicamente utiliza información histórica. Por lo anterior, el Ajuste de Riesgo II, tiene como objetivo considerar dichos aumentos, limitándolos con base en la información histórica disponible de cambios estructurales presentados en proyectos y años anteriores. Este ajuste se realiza sobre la proyección de demanda resultante de aplicar el Ajuste de riesgo I.

El “*cambio estructural*”, en términos generales, se puede definir como la modificación del patrón histórico de demanda, permanente en el tiempo, debido a un cambio en las condiciones técnicas de la vía o del proyecto. Por ejemplo, para proyectos carreteros un cambio estructural puede resultar de la habilitación de un carril adicional que disminuya los tiempos de viaje y por tanto incentive la demanda de tráfico por dicho corredor.

Dentro de un mismo proyecto pueden estimarse varios cambios estructurales en la medida en que diferentes unidades funcionales, hitos o carriles, entren en operación. Estos cambios se reflejan en el estudio de tráfico más actualizado, en donde se consideró el contexto y las características del proyecto<sup>60</sup>.

Sin embargo, es posible que el impacto real del cambio estructural resulte inferior al estimado en el estudio de tráfico y por tanto que la demanda real futura sea inferior a la proyección estimada en la etapa de estructuración<sup>61</sup>. Para

.....

<sup>58</sup> En el Glosario de Términos se define que se entenderá como cambio estructural. Esta definición solo podrá ser aplicada en el contexto de esta metodología y no servirá de sustento para otro tipo de interpretaciones.

<sup>59</sup> El cambio estructural se entenderá estrictamente como se encuentra definido en el Glosario de Términos y será aplicado solo para efectos de esta metodología. Por esta razón, no se debe utilizar dicha definición en otros contextos.

<sup>60</sup> Para otros sectores, este ejemplo se asemejará, a cambios permanentes en el tiempo como consecuencia de variaciones en las condiciones técnicas del proyecto.

<sup>61</sup> En algunos proyectos puede ocurrir que se espere un cambio estructural negativo, es decir que el tráfico disminuya en vez de aumentar. En la página de la Subdirección de APP's se encuentra el valor que se le

incorporar este hecho futuro e incierto en la proyección de tráfico del proyecto, se considera pertinente aplicar un escenario conservador de cambios estructurales, con base en lo que se ha observado históricamente por categoría.

Para desarrollar lo descrito en esta subsección se seguirá el siguiente procedimiento:

Suponga que se presenta un único cambio estructural positivo  $w$  en el período  $T+k+1$ . En este sentido, se requiere contar con dos insumos: i) el estudio de tráfico más actualizado donde se encuentra incorporado un porcentaje de cambio estructural que será calculado como  $M_S$  y ii) un parámetro  $\theta$  definido como los cambios estructurales observados históricamente en diferentes corredores<sup>62</sup>. Con estos insumos se seguirá el siguiente procedimiento:

**1. Cambio estructural en el estudio de tráfico:** determinar el incremento porcentual del cambio estructural. Si  $S_t = \{ S_T, S_{T+1}, \dots \}$  denota la serie del estudio de tráfico más actualizado, entonces el cambio estructural supone que  $S_t$  tiene un salto superior a la tendencia promedio entre los periodos  $S_{T+k}$  y  $S_{T+k+1}$ . Luego de restar la tendencia, se define el cambio estructural porcentual como:

$$M_S = \frac{S_{T+k+1} - S_{T+k}}{S_{T+k}}$$

**2. Límite al impacto de cambio estructural en la serie  $Y_t^{[1]}$ :** el cambio  $M_S$  se compara con el porcentaje  $\theta$ , y se elige el mínimo<sup>63</sup> entre estos dos valores. Con lo anterior, la serie  $Y_t^{[1]}$  se desplaza paralelamente hacia arriba en una magnitud igual al mínimo entre  $M_S$  y  $\theta$ , a partir del periodo  $T+k+1$ . De acuerdo con esto, luego de aplicar el Ajuste de riesgo II, el valor estimado de tráfico de la serie se escribe como:

.....

otorgará a este parámetro y se deberá seguir el mismo procedimiento descrito en esta sección, teniendo en cuenta que se debe considerar el valor máximo entre  $M_S$  y el valor de teta definido para estos casos.

<sup>62</sup> Este factor se calcula con base en los cambios estructurales observados en corredores existentes. Puede ser consultado en la página de la Subdirección de APP's del Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Para otros sectores, en donde se espera que algo similar ocurra, la DGCPN del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, definirá el valor que se le otorgará a dicho parámetro.

<sup>63</sup> En el caso en el que se espere un cambio estructural negativo, se deberá elegir el valor máximo entre los dos valores indicados ( $M_S$  y Teta), y la línea  $Y_t^{[1]}$  se deberá desplazar hacia abajo.

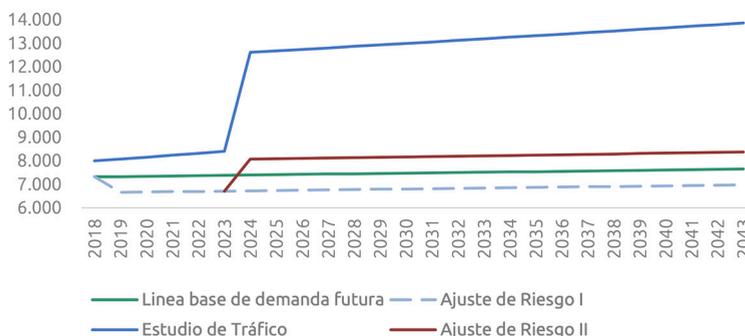


$$Y_t^{[2]} = \begin{cases} Y_t^{[1]} & \text{Si: } t \leq T + k \\ Y_t^{[1]} * (1 + \min(M_s; \theta)) & \text{Si: } t > T + k \end{cases}$$

Es decir, para los periodos anteriores al cambio estructural, la serie  $Y_t^{[1]}$  obtenida luego del Ajuste de riesgo I se mantiene inalterada, sin embargo luego del cambio estructural  $w$  proyectado para el período  $T + k + 1$ , la senda se desplaza hacia arriba en una magnitud equivalente al  $(\min(M_s; \theta))$ .

A modo ilustrativo, el Gráfico 18 expone el resultado de un ejercicio práctico cualquiera, suponiendo que  $M_s = 50\%$  y  $\theta = 20\%$ .

Gráfico 18. Ajuste de Riesgo II



Fuente: Elaboración propia DGCPNT

Se observa que la proyección del tráfico contenida en el estudio de tráfico (línea azul) no necesariamente empata con la línea base de demanda futura  $\hat{Y}_t$ , (línea verde). Este evento puede ocurrir, porque en algunos casos el insumo del estudio de tráfico proviene de análisis específicos del proyecto y el segundo de un modelo econométrico basado en información histórica.

Cuando el estudio de demanda actualizado (tráfico para este ejemplo) estime más de un cambio estructural en la vigencia del contrato, se debe realizar el mismo procedimiento descrito anteriormente con  $Y_t^{[2]}$  tomando el papel de  $Y_t^{[1]}$  y aplicando el procedimiento descrito en la sección 6.1.1.6. Esto arroja como resultado una serie  $Y_t^{[3]}$  que constituye el escenario de riesgo de demanda para el proyecto.

### 6.1.1.7 Estimación de los ingresos del proyecto y cálculo del contingente

Una vez obtenido lo anterior, para el cálculo del contingente, es necesario estimar los ingresos del proyecto. En este sentido, se debe multiplicar la senda de tráfico resultante de la aplicación del Ajuste de riesgo II, en niveles originales, por las tarifas que se esperan cobrar en el proyecto. El resultado de esto, será un monto en ingresos que se deberá comparar con los ingresos pactados contractualmente, y estimar la diferencia. Dicha diferencia, será el valor contingente a provisionar por el riesgo de demanda de tráfico en el proyecto.

### 6.1.2 Caso 2. Información histórica insuficiente

Cuando no se cuente con el mínimo establecido de 60 meses (5 años) de información histórica consecutiva para la variable de demanda, no es posible obtener un modelo econométrico en los términos de  $Y_t$  y de las variables explicativas. En este caso, se considera la serie del estudio de demanda inicial (estructuración)  $E_t$  como la proyección de la línea base de demanda, a partir de la cual se realiza el Ajuste de riesgo I: Error de estimación y el Ajuste de riesgo II: Cambios estructurales proyectados. Lo anterior, teniendo en cuenta que dichas proyecciones fueron las inicialmente contempladas para pactar las condiciones de ingreso en el contrato. En este sentido, resulta adecuado partir de esta base para realizar los escenarios en riesgo respectivos.

$$\hat{Y}_t = E_t$$

Es importante mencionar que lo indicado en la sección 6.1.2 *Caso 2. Información histórica insuficiente*, únicamente aplicará hasta tanto se hayan recopilado los 5 años requeridos de información para dar aplicación al *Caso 1. Información histórica disponible y adecuada*. Al término de dicho plazo, la entidad contratante deberá dar aplicación a la metodología descrita en la sección 6.1.1.

#### 6.1.2.1 Ajuste de Riesgo I: error de estimación

Este ajuste tiene como objetivo principal definir un escenario en riesgo, a partir del estudio de demanda realizado en la estructuración del proyecto.

Con el fin de establecer el escenario de riesgo, se ha establecido la utilización de dos insumos, de acuerdo al procedimiento que se mencionará posterior-



mente. El primero de estos corresponde a un valor porcentual  $q^{64}$  que es calculado por la DGCPTN del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, a partir de los desvíos de tráfico observados en los proyectos en ejecución<sup>65</sup>. El objetivo de este parámetro es corregir los posibles desvíos que se pueden presentar en la línea base de demanda en la estructuración de los proyectos, debido a una sobreestimación de los supuestos iniciales. El segundo, corresponde al escenario pesimista del estudio de tráfico actualizado  $S_t^-$ <sup>66</sup>, es decir, las proyecciones de demanda que reflejan el contexto más conservador del proyecto.

Con base en los dos insumos mencionados anteriormente, se realiza el siguiente procedimiento:

1. El escenario de riesgo se definirá como el mínimo entre el escenario pesimista del estudio de tráfico actualizado  $S_t^-$  y el resultado de la línea base (i.e.  $E_t$ ) posterior a la aplicación del ajuste  $q$

$$Y_t^{[1]} = \min(S_t^-; \hat{Y}_t - q \cdot E_t) = \min(S_t^-; E_t - q \cdot E_t)$$

2. En el caso en el que el resultante de la ecuación anterior, sea que el escenario de riesgo se constituye por  $\hat{Y}_t - q \cdot E_t$ , lo que ocurrirá será un desplazamiento paralelo hacia abajo de la línea base  $\hat{Y}_t$  en una magnitud igual a  $q$ . Por el contrario, si como resultado de la ecuación anterior, se evidencia que el escenario de riesgo estará descrito por la variable  $S_t^-$ , dicha senda será el insumo principal para continuar con la valoración.

<sup>64</sup> Este parámetro se actualizará periódicamente de acuerdo con la información disponible en cada sector.

<sup>65</sup> Este parámetro estará definido en la página de la Subdirección de APP's del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, y se calculará teniendo en cuenta el promedio o un percentil lo suficientemente ácido de los desvíos de tráfico observados entre el estudio de demanda inicial (estructuración) y el tráfico real de los proyectos con información. Cabe aclarar que en los casos en donde exista información parcial (por ejemplo, de algún peaje del mismo proyecto), la DGCPTN del Ministerio de Hacienda y Crédito Público podrá definir el valor del parámetro  $q$  en función de dicha información, partiendo de criterios generales, contemplando la particularidad del proyecto.

<sup>66</sup> Generalmente en proyectos de infraestructura, existe un modelo de proyección de demanda e ingresos iniciales con el que se estructuró el proyecto, el cual para estos efectos se denominará "estudio de tráfico de estructuración". Posteriormente pueden existir tantas actualizaciones como se requieran, con el fin de recoger las nuevas proyecciones de demanda. Para estos efectos, la actualización de las proyecciones más recientes al momento de que se efectúe la valoración se denominará "estudio de tráfico actualizado". En algunos casos es probable que el estudio de tráfico actualizado, sea el estudio de tráfico de estructuración.

En aras de conservar la notación introducida en la sección anterior, se denota  $Y_t^{[1]}$  a la serie resultante del Ajuste de Riesgo I, sin perjuicio de que el procedimiento difiera de los pasos a seguir cuando se cuenta con una serie histórica  $Y_t$ . Esta notación facilita, además la descripción del segundo ajuste de riesgo.

### 6.1.2.2 Ajuste de Riesgo II: cambio estructural

El Ajuste de riesgo II, para este caso, tiene como objetivo reconocer que puede existir un cambio en el comportamiento de la serie de demanda, derivada de los cambios en las condiciones de la vía o del proyecto. Al partir del estudio de tráfico de estructuración, dicho cambio de comportamiento ya fue contemplado en la estimación de la demanda inicial. Sin embargo, este ajuste pretende capturar la posible sobreestimación en el cambio estructural inicialmente contemplado, por lo cual limita el porcentaje aplicado a la serie.

Ahora bien, si el cambio estructural  $M_S$ , definido en este caso para el estudio de tráfico de estructuración, es inferior o igual al parámetro  $\theta$ , definido por la DGCPN del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, no se aplicará ningún ajuste luego del Ajuste de Riesgo I. Lo anterior, dado que esto indica que el cambio estructural estimado en la etapa de estructuración, es inferior al observado en otros proyectos y definido por el parámetro  $\theta$ . Si por el contrario,  $M_S$  es superior al parámetro  $\theta$ , se ajustará la línea base de demanda futura, para que esta refleje un cambio estructural de la magnitud  $\theta$  y no de la magnitud  $M_S$ .

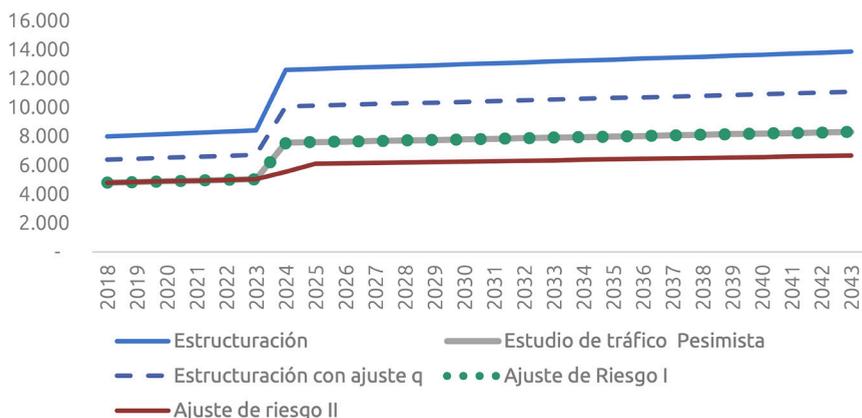
Entonces, si el cambio estructural se presenta en el período  $T+k$ , y  $\theta$  es menor que  $M_S$ , la magnitud del ajuste corresponde a  $Y_{t-1}^{[1]} * (1 + \theta)$  en el periodo  $T+k$ . Para los periodos posteriores, se definirá como  $Y_{t-1}^{[1]} * (1 + z)$  donde  $z$  es el crecimiento natural del tráfico. De lo contrario, no se realizará ningún ajuste.

$$Y_t^{[2]} = \left\{ \begin{array}{ll} Y_t^{[1]} & \text{Si: } t < T + k \\ Y_{t-1}^{[1]} * (1 + \theta) & \text{Si: } t = T + k \\ Y_{t-1}^{[1]} * (1 + z) & \text{Si: } t > T + k \end{array} \right\}$$

Suponiendo de nuevo, que  $M_S = 50\%$  y  $\theta = 20\%$ , el escenario final de riesgo es una serie  $Y_t^{[2]}$  que tiene incorporados los ajustes de riesgo por cada cambio estructural futuro estimado en la vigencia del contrato, tal y como se muestra en el Gráfico 19. *Información histórica insuficiente.*



**Gráfico 19. Información histórica insuficiente**



Fuente: Elaboración propia DGCPNT

En el Gráfico 19, el escenario pesimista del estudio de tráfico actualizado es menor a desplazar paralelamente hacia abajo la serie de tráfico de estructuración ( $\hat{Y}_t - q \cdot E_t$ ). Por lo anterior, la serie del primer ajuste de riesgo  $Y_t^{[1]}$  coincide con el escenario pesimista del estudio de tráfico actualizado (línea gris), y la serie  $Y_t^{[2]}$  se calcula a partir de  $Y_t^{[1]}$ , realizando un crecimiento de magnitud  $\theta$  y no  $M_s$ .

## 6.2 Riesgo de Tarifas Diferenciales

El riesgo de tarifas diferenciales, tal y como se explicó en la sección 4.6.2 consiste en la posibilidad de que se establezcan beneficios tarifarios otorgados a ciertos usuarios de la infraestructura.

En este sentido, este riesgo comprende dos factores (el volumen de tráfico preferencial y la tarifa cobrada). Por ejemplo, en proyectos de infraestructura vial, el escenario de riesgo consiste en que el volumen de tráfico que goza de tarifa preferencial sea superior al estimado en la etapa de estructuración y/o que la tarifa preferencial sea inferior a la que se había pactado contractualmente. Lo anterior genera que los ingresos estimados del proyecto disminuyan a medida que más usuarios hacen uso del beneficio.

Asimismo, resulta importante mencionar que, de acuerdo con la información histórica disponible para los corredores viales colombianos, no se ha observado evidencia contundente que permita concluir que el volumen de tráfico de categoría especial se correlacione con el descuento respectivo. Por esta razón, y por simplicidad en la modelación, se asume que estos dos factores de riesgo, cantidades  $Q_t$  y precios  $P_t$  son independientes.

### 6.2.1 Cálculo de cantidades $Q_t$

A continuación, las cantidades  $Q_t$  serán modeladas para obtener la valoración de riesgo correspondiente. Al igual que en el riesgo de demanda, la metodología considera dos casos de acuerdo con la calidad y suficiencia de la información histórica disponible<sup>67</sup>.

#### 6.2.1.1 Caso 1. Información histórica disponible y adecuada para categorías diferenciales

##### 6.2.1.1.1 Proyección línea base de demanda para tarifas diferenciales

Cuando exista información histórica de tarifas diferenciales para un proyecto (e.j. cifras de tráfico de “Categoría Especial” para los peajes que conforman la serie), se aplica la metodología descrita en la sección 6.1.1, en particular las primeras tres subsecciones: 6.1.1.1, 6.1.1.2, 6.1.1.3<sup>68</sup> con la serie histórica mensual del tráfico especial que será equivalente a lo que en las subsecciones anteriores se mencionaba como  $Y'_t$ .

Para el caso excepcional que se mencionaba en la sección 6.1.1.3, en el cual el coeficiente de la regresión de la variable macroeconómica o financiera no resulte con el signo esperado o no tenga un grado de significancia superior al 50%, se deberá proyectar la línea base de demanda futura, con base en el máximo tráfico de los últimos 12 meses.

.....

<sup>67</sup> El criterio de decisión para considerar que la información histórica disponible es adecuada es el mismo del de riesgo de demanda: observaciones consecutivas por mínimo 60 meses (5 años). En caso de contar con más de 60 meses, se utilizará toda la información disponible.

<sup>68</sup> Para el caso de tarifas diferenciales, es probable que una de las variables explicativas sea el número de cupos del proyecto. Para el caso de la variable independiente Tarifa, si esta variable resulta significativa se incluirá en el modelo, sin importar su signo, de lo contrario se omitirá.



Este proceso arroja como resultado una línea base  $\hat{Y}_t$  para el tráfico de esta categoría de usuarios con la cual es posible realizar los ajustes de riesgo respectivos. Lo anterior se explica, dado que el riesgo de tarifas diferencial se materializa cuando el volumen de tráfico de categoría especial es alto, por lo que para esta sección la línea base corresponde al máximo valor en lugar del promedio.

Posterior a surtir el procedimiento indicado en esta subsección, se dará continuidad con lo que se describe en la sección 6.1.1.4.

#### 6.2.1.1.2 Ajuste de Riesgo I: error de la estimación para categorías diferenciales

De la misma forma que en la Sección 6.1.1.5, el ajuste depende de si la línea base  $\hat{Y}_t$  proviene de una regresión o del máximo disponible de los últimos 12 meses.

En el primer caso, es posible computar la serie de errores en valor absoluto  $|\varepsilon_t| = \{|\varepsilon_1|, |\varepsilon_2|, \dots, |\varepsilon_T|\}$  de la regresión y a partir de allí definir el ajuste de riesgo como un desplazamiento paralelo vertical igual al percentil 95 de dichos errores, o al percentil definido por la DGCPN del Ministerio de Hacienda y Crédito Público:

$$Y_t^{[1]} = \hat{Y}_t + P_{95}(|\varepsilon_t|)$$

Tal como se mencionó en la subsección anterior, el escenario de riesgo en tarifas diferenciales consiste en niveles altos de tráfico de categoría especial, por lo cual el percentil 95 del error absoluto suma en lugar de restar<sup>69</sup>.

En caso contrario, cuando la línea base  $\hat{Y}_t$  proviene del máximo de los últimos 12 meses de la serie histórica, no se realiza ningún Ajuste de Riesgo I por error de estimación, pues ésta proyección, en sí misma, ya captura el escenario de riesgo de que el proyecto experimente en el futuro un volumen alto de tráfico de categoría especial. Por tanto, se tiene que  $Y_t^{[1]} = \hat{Y}_t$ .

.....  
<sup>69</sup> En algunos casos puede existir un acto administrativo que acote el número de tarifas diferenciales (cupos o pasadas máximas). En estos casos, si la demanda proyectada es superior a dicho límite se deberá tener en cuenta el límite impuesto mediante acto administrativo, con el objetivo de no sobreestimar el riesgo.

### 6.2.1.1.3 Ajuste de Riesgo II: cambios en el comportamiento de la serie de tarifas diferenciales

En el caso de tarifas diferenciales, puede que lo que se presente no sea propiamente un cambio estructural, sino un cambio en el comportamiento de la serie<sup>70</sup>. Este puede ocurrir (en el caso carretero) porque el número de vehículos con beneficio aumentó sustancialmente respecto a lo observado históricamente.

En este sentido, y teniendo en cuenta que puede existir información durante la ejecución del proyecto que no se refleje ni en el modelo inicial de estructuración, ni en el estudio de tráfico actualizado, el Ajuste de Riesgos II se dará siempre y cuando se cuente con información formal (resolución o carta por parte de los interesados) que indique que el número de beneficiarios o la frecuencia con la que obtienen el beneficio puede cambiar respecto a lo históricamente observado.

Por ejemplo, si la información formal con la que se cuenta  $S_t$ , por simplicidad, contempla un cambio en el comportamiento de la serie de 20% del tráfico efectivo a partir del período  $T+k$ , entonces el mínimo ajuste hacia arriba del tráfico de categoría especial debe ser 20% a partir del período  $T+k$ . Si por el contrario, se tiene información respecto a que los beneficiarios disminuirán, no se realizará ningún ajuste de riesgo, hasta tanto no se evidencien los efectos de dicha disminución. Lo anterior, con el objetivo de mantener un escenario conservador.

### 6.2.1.2 Caso 2. Información histórica insuficiente y/o inadecuada para tarifas diferenciales

De manera similar al caso 6.1.2, información insuficiente del tráfico de tarifa plena, para este caso la línea base de demanda se define como la proyección de demanda para categorías diferenciales que se contempló en el estudio de tráfico de la etapa de estructuración  $E_t$ . Sobre esta línea base se realizan los ajustes de riesgo requeridos.

.....

<sup>70</sup> En el Glosario de Términos se define esta expresión.



En el caso en el que el modelo de estructuración no haya contemplado tarifas diferenciales, se tomará como línea base el tráfico de la categoría plena, multiplicado por el porcentaje  $r$ , definido en la página de la Subdirección de APP's del Ministerio de Hacienda<sup>71</sup>, tal y como se muestra a continuación.

$$\hat{Y}_t = (r * E_t)$$

### 6.2.1.2.1 Ajuste de Riesgo I: error de la estimación para categorías diferenciales

De forma análoga a lo que sucede en la sección 6.1.2.1, para determinar el Ajuste de riesgo I ante un evento en el cual no existe información disponible y adecuada se tendrán los dos insumos definidos como i)  $q'$  que corresponde a los desvíos observados entre el tráfico diferencial contemplado inicialmente en estructuración, y el tráfico diferencial realmente observado de proyectos existentes y ii)  $S_t^+$  que hace referencia al escenario optimista del estudio de tráfico actualizado para el tráfico diferencial. En el caso en que no se haya contemplado tráfico diferencial, se tomará el escenario optimista del tráfico pleno, multiplicado por el parámetro  $r$ .

A partir de lo mencionado anteriormente, se surtirá el siguiente procedimiento:

1. El escenario de riesgo se define como el máximo entre el escenario optimista del estudio de tráfico actualizado  $S_t^+$  y la línea base (i.e.  $E_t$ ) una vez aplicado el ajuste  $q'$ .

$$Y_t^{[1]} = \max (S_t^+; E_t + q' \cdot E_t)$$

2. En caso que el resultante de la ecuación anterior, sea que el escenario de riesgo se constituye por  $E_t + q' \cdot E_t$ , lo que ocurrirá será un desplazamiento paralelo hacia arriba de la línea base  $\hat{Y}_t$  (es decir,  $E_t$ ) en una magni-

.....

<sup>71</sup> Este parámetro estará definido en la página de la Subdirección de APP's del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, y se calcula teniendo en cuenta el promedio del porcentaje de tráfico diferencial versus tráfico pleno, en los corredores que cuentan con información. En caso en que se cuente con información de tráfico pleno histórico pero no de tráfico diferencial, se deberá utilizar la senda de tráfico histórica, y multiplicarla por el parámetro  $r$  para hallar la senda de tráfico diferencial, y seguir los pasos del caso con información.

tud igual a  $q'^{72}$ . Por el contrario, si como resultado de la ecuación anterior se evidencia que el escenario de riesgo estará descrito por el escenario optimista del estudio de tráfico  $S_t^+$ , dicha senda será el insumo principal para continuar con la valoración.

Es pertinente aclarar que, este procedimiento se surtirá únicamente para el tráfico que contemple tarifas diferenciales.

#### 6.2.1.2.2 Ajuste de Riesgo II: cambios en el comportamiento de la serie de tarifas diferenciales

En este caso, y únicamente si se cuenta con información formal sobre un cambio en el comportamiento de la serie, se seguirá el procedimiento descrito en la sección 6.2.1.1.3. En caso contrario, no se surtirá el procedimiento descrito en esta subsección y por tanto no existirá Ajuste de riesgo II.

### 6.2.2 Definición de las tarifas $P$

A diferencia del volumen de tráfico por un corredor vial en una categoría especial, la cuantía del descuento otorgado a los grupos de interés no depende del tiempo. Por tanto, la tarifa diferencial tampoco depende del tiempo<sup>73</sup> y el escenario de riesgo se define a partir de un único choque a la tarifa diferencial.

#### 6.2.2.1 Caso 1. Información del proyecto disponible

Se entiende que existe información disponible cuando el proyecto ya tiene una tarifa formalmente establecida, que otorgue un beneficio adicional o diferente al contemplado contractualmente. En este caso, la tarifa diferencial  $P_E$ , equivale a la tarifa otorgada de acuerdo con la resolución o el acto en firme que otorgue el beneficio adicional o que modifique la tarifa que se había establecido en el contrato inicialmente.

Nótese que en este caso no existe mayor incertidumbre frente al valor del descuento, pues los términos del contrato, la resolución o el acto en firme ya lo establecen. En este sentido, la tarifa a compensar  $P_C$ , estaría determinada

.....

<sup>72</sup> Este parámetro será definido por la DGCPN del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, y se actualizará periódicamente.

<sup>73</sup> Únicamente se debe contemplar la indexación normal por IPC.



por la diferencia entre la tarifa contractualmente establecida ( $P_T$ ) y la nueva tarifa especial otorgada ( $P_E$ ).

$$P_C = P_T - P_E$$

### 6.2.2.2 Caso 2. Información del proyecto insuficiente

En algunos casos, aun cuando no existe un acto administrativo en firme, es probable que exista una propuesta formal por parte de los grupos de interés donde se solicita la creación de una tarifa diferencial o la modificación de la tarifa preferencial existente. En este caso, el escenario de riesgo consiste en que la tarifa propuesta se aplique en esos términos, pues las demandas de dichos grupos ya se revelan allí.

Si no se tiene información respecto a solicitudes o actos en firme que puedan determinar la tarifa diferencial que se aplicará en el proyecto, el escenario de riesgo se determinará así:

1. La DGCPTN publicará una tabla de descuentos<sup>74</sup> entre las tarifas plena y diferencial por categoría, basados en la información histórica de descuentos reales aplicados. Los valores porcentuales de dicha tabla corresponden al promedio o a un percentil de riesgo de los proyectos considerados con información, clasificados por categoría.
2. Para definir el choque aplicado a la tarifa plena, la entidad contratante deberá por cada categoría calcular el producto  $d \cdot P_T$ . Posteriormente el escenario de riesgo se define como el mínimo entre  $d \cdot P_T$  y  $P_E$ :

$$P = \min(d \cdot P_T; P_E)$$

En donde,  $P$  es la tarifa diferencial que será tenida en cuenta para el cálculo de la valoración;  $P_T$ , es la tarifa plena a la que se aplicará un descuento;  $d$  corresponde al descuento por categoría, conforme a la tabla publicada por la Dirección General de Crédito Público y Tesoro Nacional del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, y  $P_E$  es la tarifa contemplada en estructuración para la categoría diferencial. En caso en que no se haya contemplado tarifa diferencial,  $P_E$  será igual a  $d \cdot P_T$ .

<sup>74</sup> Información disponible en la Página de la Subdirección de APP's del Ministerio de Hacienda y Crédito Público.

Por ejemplo, si las tarifas plena y especial para la categoría II del proyecto fueran \$15,000 y \$12,000, respectivamente,  $d = 0.4$ , entonces la tarifa  $P$  correspondiente al escenario de riesgo se calcula como:  $P = \min ((0.4 * 15,000); 12,000) = \min (6,000; 12,000) = \$6,000$ .

### 6.2.3 Estimación de los ingresos y cálculo del contingente por tarifas diferenciales

Similar a como se realizó la estimación en la sección 6.1.1.7, al obtener los resultados del cálculo demanda  $Q_t$  y Tarifas  $P$ , se deberá realizar el cálculo de los ingresos por tarifas diferenciales y compararlo con las condiciones que se hayan pactado contractualmente. Lo anterior, con el fin de culminar la valoración del contingente tratado durante la sección 6.2.

## 6.3 Riesgo de Imposibilidad de Cobro de Mecanismos de Recaudo

Como se mencionó en secciones anteriores, el riesgo de imposibilidad en el cobro de los mecanismos de recaudo está asociado con la imposibilidad de instalar u operar los peajes o el mecanismo de recaudo del proyecto, y con la imposibilidad de aumentar las tarifas en estos mecanismos. En estos casos, la lógica de la valoración sigue los mismos patrones de la sección 6.2 *Riesgo de Tarifas Diferenciales*, respecto a los ajustes de riesgo respectivos.

Ahora bien, la materialización prolongada de este tipo de riesgos, podría llevar a la entidad contratante a no continuar con el proyecto, o a tomar medidas de gestión contractual para mitigar el riesgo. Por esta razón, en la etapa de estructuración se acotará el periodo de estas valoraciones, en el tiempo indicado en la página de la Subdirección de APP's del Ministerio de Hacienda y Crédito Público<sup>75</sup>. Sin embargo, en la etapa de ejecución, se deberá valorar este riesgo por toda la vida del proyecto, salvo que el contexto del proyecto evidencie, sin lugar a subjetividades que el riesgo estará activo por un periodo de tiempo menor al plazo del contrato.

.....

<sup>75</sup> Cabe resaltar que, en el caso en que la entidad contratante considere que hay un tiempo superior para la estimación del riesgo, por el contexto del proyecto, esta podrá incluirlo. Sin embargo, no se permitirán valoraciones con un tiempo inferior al mencionado en la página de la Subdirección de APPs del Ministerio de Hacienda y Crédito Público.



## 6.4 Riesgo de Reubicación de los Mecanismos de Recaudo

En este caso, el riesgo está dado por la diferencia en la demanda que se pueda presentar entre una y otra ubicación. Por lo anterior, para poder realizar esta valoración es necesario contar con información de demanda tanto de la ubicación original como de la nueva. En caso de que se cuente con estos insumos se aplicarán los procedimientos mencionados en la sección 6.1 y 6.2, de acuerdo con los siguientes supuestos:

1. Para la ubicación original, se asumirá el escenario de Ajuste de riesgo I que contempla un aumento del tráfico histórico. Es decir, lo contemplado en la sección 6.2.
2. Para la ubicación nueva, se asumirá el escenario de Ajuste de riesgo I que contempla una disminución del tráfico histórico. Es decir, lo contemplado en la sección 6.1.

## 6.5 Otros Riesgos Relacionados con la no Obtención de Ingresos

En el caso que el proyecto contemple riesgos diferentes a los descritos anteriormente, y que se encuentren relacionados con la no obtención de ingresos, se aplicará la misma metodología descrita en las secciones anteriores conforme los supuestos y la naturaleza del riesgo así lo permitan.

## 6.6 Otros Riesgos

En el caso que, durante la ejecución del proyecto de infraestructura se identifiquen riesgos que no se encuentran explícitamente en esta metodología, pero que se asemejan en comportamiento y estructura a lo plasmado anteriormente, se utilizará la metodología descrita en este documento.

En aquellos casos en los cuáles se requiera la utilización parcial de la misma, se presentará para aprobación de la DGCPN la metodología, conforme lo determina la normatividad vigente (Decreto 1068 de 2015).

## **6.7 Cálculo del Plan de Aportes al Fondo de Contingencias de las Entidades Estatales**

Conforme a la normatividad vigente, si se requiere la constitución del plan de aportes al Fondo de Contingencias de las Entidades Estatales, dicho cálculo tendrá como insumo las valoraciones calculadas con base en este documento y los términos particulares de cada proyecto se deberán ajustar de acuerdo con los términos contractuales en los que se realizará la compensación.

Autopista Cartagena - Barranquilla  
Fotografía: Cortesía ANI

---



## Capítulo 7

# Ejemplos Prácticos

Lo descrito a continuación tiene como objetivo principal describir el procedimiento a detalle de la aplicación de la metodología. Para facilidad del ejemplo se han simplificado ciertos aspectos.

### 7.1 Ejemplo práctico riesgos asociados a la etapa pre operativa

#### i) Definición y cálculo de parámetros iniciales

**CE** = es el costo inicial estimado de la actividad que da lugar al riesgo en la fase de estructuración (ej: costo de la compra de predios - valor de la subcuenta en caso en que aplique).

**CI** = es el presupuesto estimado y actualizado de la actividad que da lugar al riesgo (ej: costo actualizado de la compra de predios), una vez el proyecto se encuentre en ejecución.

**V<sub>p</sub>** = porcentaje promedio de sobrecosto en proyectos históricos o en ejecución, según sea el caso.

**DP** = corresponde a la desviación estándar de las dos últimas variaciones de los presupuestos actualizados de un periodo a otro, del riesgo y proyecto que se está evaluando.

**DO** = es el promedio de desviaciones estándar de las dos últimas variaciones de los presupuestos actualizados (DP) reportados por la entidad, para todos los proyectos históricos o en ejecución, según sea el caso.



En los casos en los que se presente sobrecosto negativo, se asumirá que este es 0%.



DP y DO Se calculan de la siguiente manera:


**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - EL CASO COLOMBIANO**

RIESGO PREDIAL - PRESUPUESTO SIN AHORROS								
Proyecto	Valor Subcuenta	Mes de referencia	jun-16	dic-16	jul-17	oct-17	abr-18	dic-18
P1	53.741	dic-12	79.938	-	53.741	53.741	53.741	53.741
P2	85.117	dic-12	124.348	134.048	123.917	122.238	130.199	130.199
P3	175.608	dic-12	315.895	275.757	299.861	299.861	325.327	325.327
P4	26.195	dic-12	88.849	84.716	84.715	84.715	84.716	103.461
P5	23.135	dic-12	40.764	42.937	46.358	46.358	54.982	54.982
P6	59.900	dic-12	121.991	109.718	59.900	59.900	59.900	70.433
P7	54.772	dic-12	72.880	66.024	71.952	71.952	71.952	84.905
P8	38.601	dic-12	68.485	49.281	38.601	38.601	38.601	43.417
P9	28.325	dic-12	50.305	50.032	28.325	28.631	35.371	28.325
P10	12.556	dic-13	-	-	12.556	12.556	12.556	12.556
P11	700	dic-13	-	3.161	4.534	4.534	3.114	2.751
P12	228.411	dic-13	-	228.411	237.031	237.031	357.340	236.520
P13	120.716	dic-13	-	-	120.716	120.716	120.716	120.716
P14	124.908	dic-13	-	126.979	124.908	124.908	124.908	124.908
P15	70.914	dic-13	-	-	144.587	144.587	123.439	123.544
P16	29.356	dic-12	-	129.499	126.321	126.321	113.902	122.623
P17	122.791	dic-13	-	-	191.554	191.554	203.634	203.634
P18	9.137	dic-12	-	-	10.704	10.704	10.084	14.352
P19	62.532	dic-13	-	-	85.262	85.262	120.792	112.861
P20	57.028	dic-15	-	-	-	-	-	131.000
<b>Muestra de proyectos</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	
<b>% Sobrecosto</b>	<b>76,65%</b>	<b>48,63%</b>	<b>40,54%</b>	<b>40,44%</b>	<b>54,08%</b>	<b>51,70%</b>		

RIESGO PREDIAL - Desvíos reportes								
Proyecto	Valor Subcuenta	jun 2016	dic 2016	jul 2017	oct 2017	abr 2018	dic 2018	Desviación estandar de desvíos en reportes
P1	53.741				0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
P2	85.117		7,8%	-7,6%	-1,4%	6,5%	0,0%	4,61%
P3	175.608		-12,7%	8,7%	0,0%	8,5%	0,0%	6,0%
P4	26.195		-4,7%	0,0%	0,0%	0,0%	22,1%	15,6%
P5	23.135		5,3%	8,0%	0,0%	18,6%	0,0%	13,2%
P6	59.900		-10,1%	-45,4%	0,0%	0,0%	17,6%	12,4%
P7	54.772		-9,4%	9,0%	0,0%	0,0%	18,0%	12,7%
P8	38.601		-28,0%	-21,7%	0,0%	0,0%	12,5%	8,8%
P9	28.325		-0,5%	-43,4%	1,1%	23,5%	-19,9%	30,7%
P10	12.556				0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
P11	700			43,5%	0,0%	-31,3%	-11,6%	13,9%
P12	228.411			3,8%	0,0%	50,8%	-33,8%	59,8%
P13	120.716				0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
P14	124.908			-1,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
P15	70.914				0,0%	-14,6%	0,1%	10,4%
P16	29.356			-2,5%	0,0%	-9,8%	7,7%	12,4%
P17	122.791				0,0%	6,3%	0,0%	4,5%
P18	9.137				0,0%	-5,8%	42,3%	34,0%
P19	62.532				0,0%	41,7%	-6,6%	34,1%
P20	57.028							

**Promedio de desvíos**

**14,4%**



## CASO 1. Información histórica consolidada para proyectos terminados

Este caso aplicará únicamente en el evento en el que la entidad cuente con una base de datos de proyectos terminados, y con las características establecidas en la página de la Subdirección de APP's del Ministerio de Hacienda y Crédito Público.

Información histórica - Riesgo Predial	
Mínimo de Sobrecosto	0%
Promedio de Sobrecosto ( $V_p$ )	60%

Por ejemplo, para calcular  $DP$  para el proyecto 2, se deben surtir los siguientes pasos

1. Se deben calcular las variaciones que han existido en las estimaciones a lo largo del tiempo.

$$\text{Diciembre 2016} = (134.048.354.535 - 124.347.857.240) / (124.347.857.240) = 7.8\%$$

$$\text{Julio 2017} = (123.917.219.134 - 134.048.354.535) / (134.048.354.535) = -7.6\%$$

$$\text{Octubre 2017} = (122.237.929.333 - 123.917.219.134) / (123.917.219.134) = -1.4\%$$

$$\text{Abril 2018} = (130.199.049.424 - 122.237.929.333) / (122.237.929.333) = 6.5\%$$

$$\text{Diciembre 2018} = (130.199.049.424 - 130.199.049.424) / (130.199.049.424) = 0.0\%$$

2.  $DP$  corresponderá a la desviación estándar de los últimos 2 periodos calculados anteriormente

$$DP = \text{DESVEST} (6.5\%; 0.0\%) = 4.6\%$$

$DO$  será el promedio de  $DP$  calculados para los proyectos con información (14.4%).

## » Información de sobrecostos para el proyecto que se pretende evaluar

Información del Proyecto	
Sector	Transporte
Riesgo	Predial
Estado actual	Construcción
Valor subcuenta inicial (CE)	5.000
Valor actividades asociadas al riesgo en ejecución (actualizado) (CI)	8.500
Sobrecosto esperado para el proyecto $(C_I - C_E) / C_E$	70% <sup>76</sup>
Desvío actualización presupuestos(DP)	4.6%
Promedio Desvío actualización presupuestos (DO)	14.4%
Porcentaje de ejecución predial ( predios adquiridos/ predios totales)	66%

Para este caso el valor mínimo, más probable y máximo está definido por:

$V_{min}$  = porcentaje mínimo de la base de datos histórica

$$V_{MP} = (70\% \left( \frac{C_I - C_E}{C_E} \right) + 30\%(V_P)) * (1 + DP)$$

$$V_{Max} = MAX (V_P; \left( \frac{C_I - C_E}{C_E} \right)) * (1 + 3 * (\max (DP; DO)))$$

Al remplazar los valores

$$V_{min} = 0\%$$

$$V_{MP} = (70\% * 70\% + 30\% * 60\%) * (1 + 4.6\%)$$

$$V_{MP} = 70.08\%$$

$$V_{Max} = MAX (60\%; 70\%) * (1 + 3 * (\max (4.6\%; 14.4\%)))$$

$$V_{Max} = 100.2\%$$

.....

<sup>76</sup> Dado que el porcentaje de sobrecosto del proyecto es mayor al porcentaje promedio de sobrecosto de proyectos terminados, la ponderación del Valor más probable es 70%-30% otorgándole el mayor porcentaje al sobrecosto más alto. En caso contrario, la ponderación se invertiría.



## » No existencia de información de sobrecostos para el proyecto

Información del Proyecto	
Sector	Transporte
Riesgo	Predial
Estado actual	Construcción
Valor subcuenta inicial (CE)	5.000
Valor actividades asociadas al riesgo en ejecución actualizado (CI)	No aplica
Sobrecosto esperado para el proyecto $(C_I - C_E) / C_E$	No aplica
Desvío actualización presupuestos (DP)	No aplica
Promedio desvío actualización presupuestos (DO)	14.4%
Porcentaje de ejecución predial ( predios adquiridos/ predios totales)	0%

Para este caso el valor mínimo, más probable y máximo está definido por:

$$V_{min} = \text{porcentaje mínimo de la base de datos histórica}$$

$$V_{MP} = V_P * (1 + DO)$$

$$V_{Max} = \text{Max} \left( V_P; \left( \frac{C_I - C_E}{C_E} \right) \right) * (1 + 3 * (\text{max} (DP; DO)))$$

Al remplazar los valores

$$V_{min} = 0\%$$

$$V_{MP} = 60\% * (1 + 14.4\%)$$

$$V_{MP} = 68.6\%$$

$$V_{Max} = \text{Max} (60\%; 0\%) * (1 + 3 * (\text{max} (0\%; 14.4\%)))$$

$$V_{Max} = 85.9\%$$

## CASO 2. Información consolidada para proyectos en ejecución

- » Sobrecosto proyecto mayor al promedio de sobrecosto proyectos en ejecución

Información del Proyecto	
Sector	Transporte
Riesgo	Predial
Estado actual	Construcción
Valor subcuenta inicial (CE)	5.000
Valor actividades asociadas al riesgo en ejecución actualizado (CI)	8.500
Sobrecosto esperado para el proyecto $(C_I - C_E) / C_E$	70%
Sobrecosto promedio proyectos en ejecución ( $V_p$ )	60%
Desvío actualización presupuestos (DP)	4.6%
Promedio desvío actualización presupuestos (DO)	14.4%
Porcentaje de ejecución predial ( predios adquiridos/ predios totales)	66%

Para este caso el valor mínimo, más probable y máximo está definido por:

$V_{min}$  = porcentaje mínimo de la base de datos de proyectos en ejecución

$$V_{MP} = \left( \frac{C_I - C_E}{C_E} \right) * (1 + DP)$$

$$V_{Max} = \text{Max} \left( V_p; \left( \frac{C_I - C_E}{C_E} \right) * (1 + 3 * (\text{max} (DP; DO))) \right)$$

$$V_{min} = 0\%$$

$$V_{MP} = (70\%) * (1 + 4.6\%)$$

$$V_{MP} = 73.2\%$$

$$V_{Max} = \text{Max} (60\%; 70\%) * (1 + 3 * (\text{max} (4.6\%; 14.4\%)))$$

$$V_{Max} = 100.2\%$$



- » Sobrecosto proyecto menor al promedio de sobrecosto proyectos en ejecución

Información del Proyecto	
Sector	Transporte
Riesgo	Predial
Estado actual	Construcción
Valor subcuenta inicial (CE)	5.000
Valor actividades asociadas al riesgo en ejecución actualizado (CI)	6.500
Sobrecosto esperado para el proyecto $(C_I - C_E) / C_E$	30%
Sobrecosto promedio proyectos en ejecución ( $V_p$ )	60%
Desvío actualización presupuestos (DP)	4.6%
Promedio desvío actualización presupuestos (DO)	14.4%
Porcentaje de ejecución predial ( predios adquiridos/ predios totales)	66%

Para este caso el valor mínimo, más probable y máximo está definido por:

$V_{min}$  = porcentaje mínimo de la base de datos de proyectos en ejecución

$$V_{MP} = \left( \frac{\frac{C_I - C_E}{C_E} + V_P}{2} \right) * (1 + DP)$$

$$V_{Max} = \text{MAX} (V_P; \left( \frac{C_I - C_E}{C_E} \right)) * (1 + 3 * (\text{max} (DP; DO)))$$

Al remplazar los valores

$$V_{min} = 0\%$$

$$V_{MP} = \frac{30\% + 60\%}{2} * (1 + 4.6\%)$$

$$V_{MP} = 47.1\%$$

$$V_{Max} = \text{Max} (60\%; 30\%) * (1 + 3 * (\text{max} (4.6\%; 14.4\%)))$$

$$V_{Max} = 85.9\%$$

» **No existencia de pronóstico para el proyecto**

Información del Proyecto	
Sector	Transporte
Riesgo	Predial
Estado actual	Construcción
Valor subcuenta inicial (CE)	5.000
Valor actividades asociadas al riesgo en ejecución actualizado (CI)	No aplica
Sobrecosto esperado para el proyecto $(C_I - C_E) / C_E$	No aplica
Sobrecosto promedio proyectos en ejecución ( $V_P$ )	No aplica
Desvío actualización presupuestos (DP)	No aplica
Promedio desvío actualización presupuestos (DO)	14.4%
Porcentaje de ejecución predial ( predios adquiridos/ predios totales)	0%

Para este caso el valor mínimo, más probable y máximo está definido por:

$V_{min} = p$  Porcentaje mínimo de la base de datos de proyectos en ejecución

$$V_{MP} = V_P * (1 + DO)$$

$$V_{Max} = \text{Max} \left( V_P; \left( \frac{C_I - C_E}{C_E} \right) \right) * (1 + 3 * (\text{max} (DP; DO)))$$

Al remplazar los valores

$$V_{min} = 0\%$$

$$V_{MP} = 60\% * (1 + 14.4\%)$$



$$V_{MP} = 68.6\%$$

$$V_{Max} = \text{Max}(60\%; 0\%) * (1 + 3 * (\text{max}(0\%; 14.4\%)))$$

$$V_{Max} = 85.9\%$$

### CASO 3. Ausencia completa de información

Este último caso consiste en la aplicación de un panel de expertos para la definición de los parámetros  $V_{Min}$ ,  $V_{MP}$  y  $V_{Max}$ . Este caso únicamente aplicará cuando se cumplan al menos dos de los siguientes supuestos:

- El sector en el que se desarrollará el proyecto de concesión o APP, o el riesgo específico que se valorará, es completamente nuevo en dicha modalidad de contratación.
- No existe información, en ningún sector, del riesgo particular a valorar.
- No existe posibilidad de recolectar información histórica o de proyectos en ejecución que sea asimilable con los riesgos de otros proyectos o de otras modalidades de contratación.

Cuando lo anterior ocurra, se podrá realizar un panel de expertos, siempre y cuando éste se realice siguiendo estrictamente el procedimiento de la metodología propuesta vigente por el Departamento Nacional de Planeación y las actualizaciones que realice la DGCPTN.

#### ii) Calibración de la función PERT

Independientemente del caso, el procedimiento para la calibración de la PERT se realizará de la misma manera.

Para efectos de este ejemplo, se asumirá que los resultados  $V_{Min}$ ,  $V_{MP}$  y  $V_{Max}$  son los siguientes:

Información del Proyecto	
Sector	Transporte
Riesgo	Predial
Estado actual	Construcción
Porcentaje de ejecución predial ( predios adquiridos/ predios totales)	66.6%
Vmin	0.0%
Vmp	73.5%
Vmax	101.5%

A partir de lo anterior, se deben definir los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , los cuales se definen así:

$$\alpha = \left( \frac{4(V_{MP} - V_{Min})}{(V_{Max} - V_{Min})} \right) + 1$$

$$\beta = \left( \frac{4(V_{Max} - V_{MP})}{(V_{Max} - V_{Min})} \right) + 1$$

Al remplazar los valores

$$\alpha = \left( \frac{4(73.5\% - 0\%)}{(101.5\% - 0\%)} \right) + 1$$

$$\alpha = 389.7\%$$

$$\beta = \left( \frac{4(101.5\% - 73.5\%)}{(101.5\% - 0\%)} \right) + 1$$

$$\beta = 210.3\%$$

Una vez definidos los parámetros anteriores, se debe estimar la probabilidad punto y probabilidad acumulada de la función Beta, utilizando la fórmula DISTR.BETA.N, (en Excel) y los valores, en términos porcentuales, de sobrecosto, alpha, beta, mínimo y máximo encontrados anteriormente.



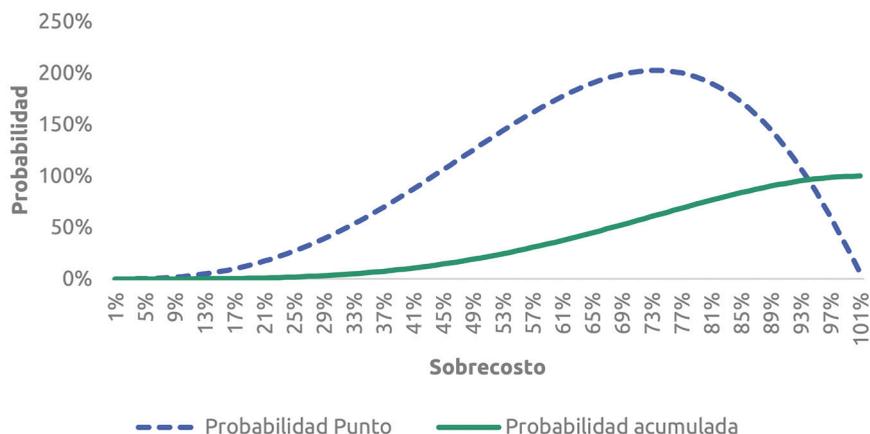
**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - EL CASO COLOMBIANO**

X	f(x)	F (X)	X	f(x)	F (X)
Sobrecosto	Probabilidad punto	Probabilidad acumulada	Sobrecosto	Probabilidad punto	Probabilidad acumulada
1%	0,0000325	0,00%	27%	0,3277260	2,46%
2%	0,0002396	0,00%	28%	0,3587513	2,80%
3%	0,0007671	0,00%	29%	0,3911844	3,18%
4%	0,0017454	0,00%	30%	0,4249928	3,58%
5%	0,0032939	0,00%	31%	0,4601391	4,03%
6%	0,0055222	0,01%	32%	0,4965814	4,50%
7%	0,0085312	0,02%	33%	0,5342731	5,02%
8%	0,0124142	0,03%	34%	0,5731631	5,57%
9%	0,0172567	0,04%	35%	0,6131957	6,17%
10%	0,0231371	0,06%	36%	0,6543110	6,80%
11%	0,0301273	0,09%	37%	0,6964444	7,47%
12%	0,0382922	0,12%	38%	0,7395273	8,19%
13%	0,0476907	0,16%	39%	0,7834865	8,95%
14%	0,0583754	0,22%	40%	0,8282449	9,76%
15%	0,0703926	0,28%	41%	0,8737209	10,61%
16%	0,0837830	0,36%	42%	0,9198290	11,51%
17%	0,0985814	0,45%	43%	0,9664797	12,45%
18%	0,1148170	0,56%	44%	1,0135793	13,44%
19%	0,1325133	0,68%	45%	1,0610303	14,48%
20%	0,1516884	0,82%	46%	1,1087313	15,56%
21%	0,1723550	0,98%	47%	1,1565770	16,70%
22%	0,1945204	1,17%	48%	1,2044584	17,88%
23%	0,2181868	1,37%	49%	1,2522627	19,10%
24%	0,2433512	1,60%	50%	1,2998738	20,38%
25%	0,2700054	1,86%	51%	1,3471715	21,70%
26%	0,2981364	2,14%	52%	1,3940326	23,07%

X	f(x)	F (X)	X	f(x)	F (X)
Sobrecosto	Probabilidad punto	Probabilidad acumulada	Sobrecosto	Probabilidad punto	Probabilidad acumulada
53%	1,4403301	24,49%	79%	1,9622065	72,65%
54%	1,4859339	25,96%	80%	1,9354993	74,60%
55%	1,5307104	27,46%	81%	1,9037386	76,52%
56%	1,5745229	29,02%	82%	1,8667605	78,41%
57%	1,6172317	30,61%	83%	1,8244054	80,25%
58%	1,6586939	32,25%	84%	1,7765186	82,05%
59%	1,6987637	33,93%	85%	1,7229518	83,80%
60%	1,7372924	35,65%	86%	1,6635643	85,50%
61%	1,7741287	37,40%	87%	1,5982249	87,13%
62%	1,8091185	39,19%	88%	1,5268141	88,69%
63%	1,8421053	41,02%	89%	1,4492266	90,18%
64%	1,8729301	42,88%	90%	1,3653751	91,59%
65%	1,9014317	44,77%	91%	1,2751945	92,91%
66%	1,9274466	46,68%	92%	1,1786481	94,14%
67%	1,9508095	48,62%	93%	1,0757364	95,27%
68%	1,9713532	50,58%	94%	0,9665085	96,29%
69%	1,9889088	52,56%	95%	0,8510801	97,20%
70%	2,0033059	54,56%	96%	0,7296616	97,99%
71%	2,0143729	56,57%	97%	0,6026051	98,65%
72%	2,0219371	58,59%	98%	0,4704903	99,19%
73%	2,0258249	60,61%	99%	0,3343064	99,59%
74%	2,0258625	62,64%	100%	0,1959252	99,86%
75%	2,0218754	64,66%	101%	0,0600267	99,99%
76%	2,0136895	66,68%	102%		
77%	2,0011310	68,69%			
78%	1,9840272	70,68%			



**Gráfico 20. Probabilidad punto y acumulada**



Fuente: Elaboración propia DGCPNTN

Dado que el porcentaje de avance del riesgo o del proyecto, puede dar una estimación del nivel de incertidumbre asociado, para definir el escenario de riesgo se deberá elegir un percentil (de la probabilidad acumulada) acorde con el nivel de incertidumbre del proyecto, de acuerdo con la siguiente tabla:

% Avance riesgo / proyecto	0% - 30%	31% - 60%	61%-90%	91%-100%
Percentil	95%	80%	70%	60%

Para este ejemplo, el riesgo tiene un avance del 66.6%, por lo cual, el percentil de riesgo será el 70%.

Entonces, de la tabla de probabilidad punto y acumulada se debe buscar la probabilidad acumulada más cercana a 70%.

X	f(x)	F (X)	X	f(x)	F (X)
Sobrecosto	Probabilidad punto	Probabilidad acumulada	Sobrecosto	Probabilidad punto	Probabilidad acumulada
53%	1,4403301	24,49%	79%	1,9622065	72,65%
54%	1,4859339	25,96%	80%	1,9354993	74,60%
55%	1,5307104	27,46%	81%	1,9037386	76,52%
56%	1,5745229	29,02%	82%	1,8667605	78,41%
57%	1,6172317	30,61%	83%	1,8244054	80,25%
58%	1,6586939	32,25%	84%	1,7765186	82,05%
59%	1,6987637	33,93%	85%	1,7229518	83,80%
60%	1,7372924	35,65%	86%	1,6635643	85,50%
61%	1,7741287	37,40%	87%	1,5982249	87,13%
62%	1,8091185	39,19%	88%	1,5268141	88,69%
63%	1,8421053	41,02%	89%	1,4492266	90,18%
64%	1,8729301	42,88%	90%	1,3653751	91,59%
65%	1,9014317	44,77%	91%	1,2751945	92,91%
66%	1,9274466	46,68%	92%	1,1786481	94,14%
67%	1,9508095	48,62%	93%	1,0757364	95,27%
68%	1,9713532	50,58%	94%	0,9665085	96,29%
69%	1,9889088	52,56%	95%	0,8510801	97,20%
70%	2,0033059	54,56%	96%	0,7296616	97,99%
71%	2,0143729	56,57%	97%	0,6026051	98,65%
72%	2,0219371	58,59%	98%	0,4704903	99,19%
73%	2,0258249	60,61%	99%	0,3343064	99,59%
74%	2,0258625	62,64%	100%	0,1959252	99,86%
75%	2,0218754	64,66%	101%	0,0600267	99,99%
76%	2,0136895	66,68%	102%		
77%	2,0011310	68,69%			
78%	1,9840272	70,68%			



Probabilidad acumulada más cercana al percentil de riesgo 70%.

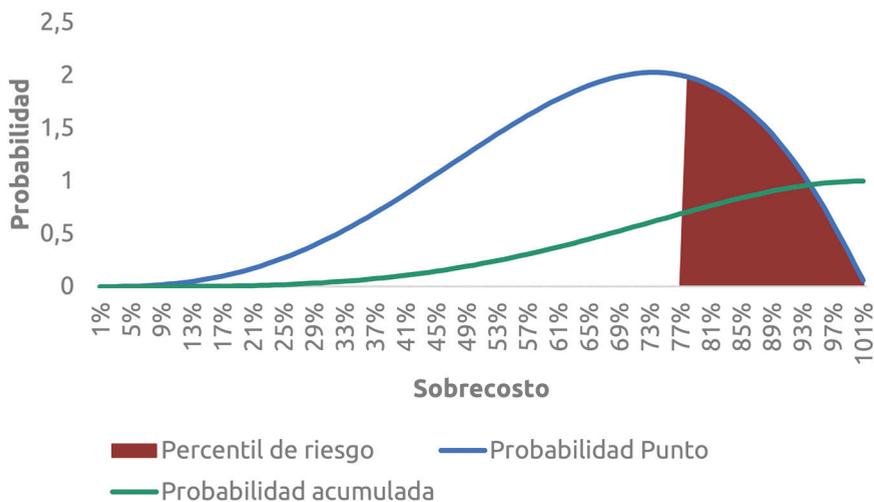


**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN** DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - **EL CASO COLOMBIANO**

El valor del sobrecosto del escenario de riesgo estará dado por el dato más cercano al punto donde se ubica el percentil en la probabilidad acumulada. En los casos en donde los valores más cercanos al percentil buscado sean 2, se promediarán los valores, para obtener el porcentaje de sobrecosto.

Para este ejemplo, el porcentaje de sobrecosto del proyecto es de 78%.

Gráfico 21. Percentil de riesgo 70 % y sobrecosto 78%



Fuente: Elaboración propia DGCPNT

### iii) Valor contingente

Finalmente, en términos monetarios el valor del sobrecosto total se calcula multiplicando el sobrecosto porcentual por el valor estimado o el costo inicial de la actividad asociada al riesgo, utilizado previamente ( $C_E$ ).

Si el valor inicial es 5.000, el valor contingente será  $5.000 \times 78\% = 3.900$

## 7.2 Ejemplo práctico riesgos asociados a la etapa operativa

### CASO 1. Riesgo de Demanda: información histórica disponible y adecuada

Información del Proyecto	
Sector	Transporte
Número de peajes	1
Información histórica disponible y adecuada	Si
Número de categorías por peaje	2
Plazo	5 años



## 1. Alistamiento de datos e identificación de variables explicativas

## » Serie de demanda histórica

Año	Mes	CAT I	CAT II	Año	Mes	CAT I	CAT II
2005	Enero	73.523	3.567	2008	Enero	84.701	4.728
2005	Febrero	46.741	3.170	2008	Febrero	60.931	4.485
2005	Marzo	56.362	3.336	2008	Marzo	69.428	4.097
2005	Abril	42.453	3.380	2008	Abril	54.685	4.553
2005	Mayo	47.173	3.531	2008	Mayo	62.414	4.318
2005	Junio	48.333	3.672	2008	Junio	64.474	4.259
2005	Julio	59.892	3.616	2008	Julio	66.508	4.970
2005	Agosto	51.445	3.740	2008	Agosto	66.238	4.556
2005	Septiembre	45.511	3.982	2008	Septiembre	56.141	4.929
2005	Octubre	49.119	3.907	2008	Octubre	63.794	5.261
2005	Noviembre	51.281	4.176	2008	Noviembre	60.030	4.602
2005	Diciembre	63.440	4.729	2008	Diciembre	78.200	5.201
2006	Enero	76.549	4.046	2009	Enero	92.534	4.484
2006	Febrero	49.854	3.526	2009	Febrero	61.401	4.385
2006	Marzo	48.653	4.120	2009	Marzo	61.299	4.768
2006	Abril	59.009	3.568	2009	Abril	71.000	4.491
2006	Mayo	46.153	4.172	2009	Mayo	63.037	4.608
2006	Junio	52.310	4.081	2009	Junio	68.615	4.412
2006	Julio	62.729	4.293	2009	Julio	72.004	4.830
2006	Agosto	56.537	4.186	2009	Agosto	68.398	4.416
2006	Septiembre	50.908	4.150	2009	Septiembre	59.156	4.899
2006	Octubre	54.399	4.306	2009	Octubre	66.954	5.116
2006	Noviembre	56.215	4.216	2009	Noviembre	63.867	4.647
2006	Diciembre	68.927	4.661	2009	Diciembre	81.356	5.401
2007	Enero	84.407	3.876	2010	Enero	94.339	4.434
2007	Febrero	55.557	3.719	2010	Febrero	64.473	4.382
2007	Marzo	55.866	4.142	2010	Marzo	65.524	4.744
2007	Abril	60.705	3.567	2010	Abril	65.991	4.320
2007	Mayo	53.312	3.989	2010	Mayo	62.947	4.441

## MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO

2007	Junio	59.714	3.825
2007	Julio	64.702	3.882
2007	Agosto	60.209	4.192
2007	Septiembre	53.967	4.215
2007	Octubre	57.325	4.945
2007	Noviembre	59.033	5.100
2007	Diciembre	76.655	5.141

2010	Junio	64.599	4.630
2010	Julio	74.377	5.025
2010	Agosto	68.139	5.276
2010	Septiembre	61.075	5.440
2010	Octubre	71.022	5.691
2010	Noviembre	64.814	6.261
2010	Diciembre	93.224	15.859

Año	Mes	CAT I	CAT II
2011	Enero	94.102	6.903
2011	Febrero	61.342	6.442
2011	Marzo	78.667	7.136
2011	Abril	82.607	6.158
2011	Mayo	66.661	6.329
2011	Junio	76.486	5.762
2011	Julio	82.605	5.960
2011	Agosto	76.491	6.622
2011	Septiembre	69.051	6.479
2011	Octubre	75.052	7.632
2011	Noviembre	82.018	12.420
2011	Diciembre	96.820	13.340
2012	Enero	109.562	5.857
2012	Febrero	78.483	5.497
2012	Marzo	78.083	5.997
2012	Abril	83.617	4.861
2012	Mayo	74.606	5.469
2012	Junio	82.408	5.326
2012	Julio	88.939	5.504
2012	Agosto	82.246	5.909
2012	Septiembre	76.336	5.759
2012	Octubre	82.285	5.840
2012	Noviembre	79.564	6.036
2012	Diciembre	100.019	5.670

Año	Mes	CAT I	CAT II
2014	Enero	121.132	4.871
2014	Febrero	79.581	4.768
2014	Marzo	98.359	4.925
2014	Abril	101.213	5.069
2014	Mayo	86.029	5.422
2014	Junio	92.291	4.590
2014	Julio	93.348	5.357
2014	Agosto	97.733	5.024
2014	Septiembre	83.185	5.298
2014	Octubre	96.249	5.702
2014	Noviembre	93.970	5.362
2014	Diciembre	117.508	6.034
2015	Enero	77.314	2.118
2015	Febrero	147.539	7.634
2015	Marzo	98.158	5.599
2015	Abril	100.648	4.974
2015	Mayo	96.938	5.323
2015	Junio	104.286	5.106
2015	Julio	105.481	6.091
2015	Agosto	102.374	5.761
2015	Septiembre	89.510	6.171
2015	Octubre	103.813	6.244
2015	Noviembre	104.818	5.878
2015	Diciembre	125.072	6.472



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - EL CASO COLOMBIANO**

2013	Enero	127.691	5.334
2013	Febrero	81.524	4.882
2013	Marzo	95.600	4.230
2013	Abril	71.959	4.986
2013	Mayo	78.878	5.067
2013	Junio	92.674	4.563
2013	Julio	91.125	5.231
2013	Agosto	88.930	5.255
2013	Septiembre	79.788	4.994
2013	Octubre	90.907	5.404
2013	Noviembre	87.550	5.055
2013	Diciembre	110.330	5.384

2016	Enero	135.829	5.190
2016	Febrero	102.051	5.355
2016	Marzo	116.500	5.080
2016	Abril	91.674	5.496
2016	Mayo	100.760	5.451
2016	Junio	103.724	5.355
2016	Julio	118.332	5.402
2016	Agosto	107.973	5.799
2016	Septiembre	96.505	5.791
2016	Octubre	105.590	5.534
2016	Noviembre	99.325	5.486
2016	Diciembre	117.398	5.629

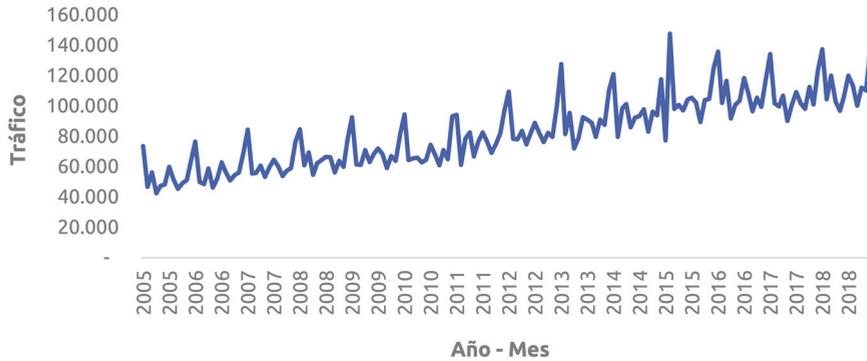
Año	Mes	CAT I	CAT II
2017	Enero	134.236	4.575
2017	Febrero	101.770	4.303
2017	Marzo	99.634	4.943
2017	Abril	106.709	4.266
2017	Mayo	90.260	4.442
2017	Junio	100.762	4.552
2017	Julio	109.210	5.211
2017	Agosto	101.811	4.904
2017	Septiembre	98.065	4.794
2017	Octubre	112.496	5.334
2017	Noviembre	101.011	4.947
2017	Diciembre	123.388	5.152

Año	Mes	CAT I	CAT II
2018	Enero	137.249	4.846
2018	Febrero	104.483	4.710
2018	Marzo	120.059	5.029
2018	Abril	103.124	5.399
2018	Mayo	96.784	5.143
2018	Junio	106.277	4.716
2018	Julio	119.972	5.197
2018	Agosto	113.771	5.386
2018	Septiembre	100.322	5.426
2018	Octubre	112.197	5.582
2018	Noviembre	110.260	5.745
2018	Diciembre	137.972	5.896

Categoría	$\mu$	$\sigma$
CAT I	82.951	22.888
CAT II	5.136	1.464

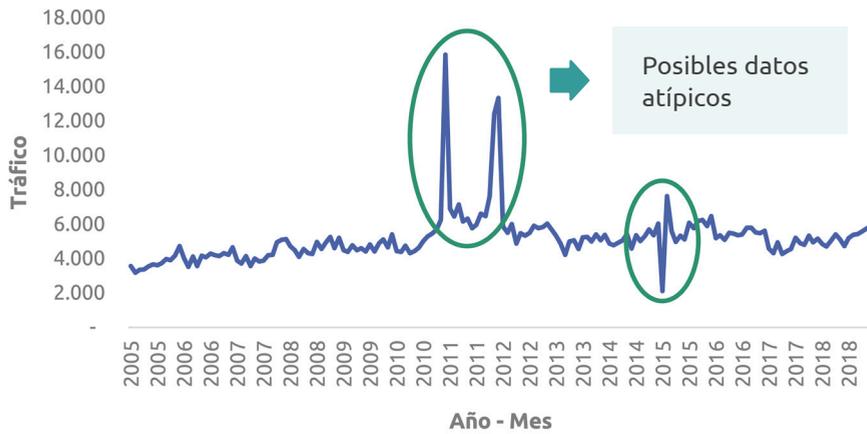
En este paso se debe verificar que se cuente con mínimo 60 datos mensuales.

Gráfico 22. Serie de demanda CAT I



Fuente: Elaboración propia DGCPNT

Gráfico 23. Serie de demanda CAT II



Fuente: Elaboración propia DGCPNT



## » Verificación de datos atípicos

Para este paso se debe utilizar la verificación de la Puntuación Z, para determinar si los datos aparentemente atípicos, efectivamente lo son.

Por lo tanto se aplicará la siguiente fórmula a cada dato de la serie que se evaluará.



$$Z = (x - \mu) / \sigma$$

Los posibles datos atípicos se presentan en la categoría II en diciembre de 2010, noviembre y diciembre de 2011 y enero de 2015. Sin embargo, para disminuir la probabilidad de error, se realiza la prueba de puntuación Z para toda la serie, tal como se muestra a continuación.

Año	Mes	CAT II	Puntuación Z	Año	Mes	CAT II	Puntuación Z
2005	Enero	3.567	- 1,07	2008	Enero	4.728	- 0,28
2005	Febrero	3.170	- 1,34	2008	Febrero	4.485	- 0,44
2005	Marzo	3.336	- 1,23	2008	Marzo	4.097	- 0,71
2005	Abril	3.380	- 1,20	2008	Abril	4.553	- 0,40
2005	Mayo	3.531	- 1,10	2008	Mayo	4.318	- 0,56
2005	Junio	3.672	- 1,00	2008	Junio	4.259	- 0,60
2005	Julio	3.616	- 1,04	2008	Julio	4.970	- 0,11
2005	Agosto	3.740	- 0,95	2008	Agosto	4.556	- 0,40
2005	Septiembre	3.982	- 0,79	2008	Septiembre	4.929	- 0,14
2005	Octubre	3.907	- 0,84	2008	Octubre	5.261	0,09
2005	Noviembre	4.176	- 0,66	2008	Noviembre	4.602	- 0,36
2005	Diciembre	4.729	- 0,28	2008	Diciembre	5.201	0,04
2006	Enero	4.046	- 0,74	2009	Enero	4.484	- 0,45
2006	Febrero	3.526	- 1,10	2009	Febrero	4.385	- 0,51

## MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO

2006	Marzo	4.120	- 0,69	2009	Marzo	4.768	- 0,25
2006	Abril	3.568	- 1,07	2009	Abril	4.491	- 0,44
2006	Mayo	4.172	- 0,66	2009	Mayo	4.608	- 0,36
2006	Junio	4.081	- 0,72	2009	Junio	4.412	- 0,49
2006	Julio	4.293	- 0,58	2009	Julio	4.830	- 0,21
2006	Agosto	4.186	- 0,65	2009	Agosto	4.416	- 0,49
2006	Septiembre	4.150	- 0,67	2009	Septiembre	4.899	- 0,16
2006	Octubre	4.306	- 0,57	2009	Octubre	5.116	- 0,01
2006	Noviembre	4.216	- 0,63	2009	Noviembre	4.647	- 0,33
2006	Diciembre	4.661	- 0,32	2009	Diciembre	5.401	0,18
2007	Enero	3.876	- 0,86	2010	Enero	4.434	- 0,48
2007	Febrero	3.719	- 0,97	2010	Febrero	4.382	- 0,51
2007	Marzo	4.142	- 0,68	2010	Marzo	4.744	- 0,27
2007	Abril	3.567	- 1,07	2010	Abril	4.320	- 0,56
2007	Mayo	3.989	- 0,78	2010	Mayo	4.441	- 0,47
2007	Junio	3.825	- 0,90	2010	Junio	4.630	- 0,35
2007	Julio	3.882	- 0,86	2010	Julio	5.025	- 0,08
2007	Agosto	4.192	- 0,64	2010	Agosto	5.276	0,10
2007	Septiembre	4.215	- 0,63	2010	Septiembre	5.440	0,21
2007	Octubre	4.945	- 0,13	2010	Octubre	5.691	0,38
2007	Noviembre	5.100	- 0,02	2010	Noviembre	6.261	0,77
2007	Diciembre	5.141	0,00	2010	Diciembre	15.859	7,32

Año	Mes	CAT II	Puntuación Z
2011	Enero	6.903	1,21
2011	Febrero	6.442	0,89
2011	Marzo	7.136	1,37
2011	Abril	6.158	0,70
2011	Mayo	6.329	0,81
2011	Junio	5.762	0,43
2011	Julio	5.960	0,56
2011	Agosto	6.622	1,01

Año	Mes	CAT II	Puntuación Z
2014	Enero	4.871	- 0,18
2014	Febrero	4.768	- 0,25
2014	Marzo	4.925	- 0,14
2014	Abril	5.069	- 0,05
2014	Mayo	5.422	0,20
2014	Junio	4.590	- 0,37
2014	Julio	5.357	0,15
2014	Agosto	5.024	- 0,08



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN** DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - **EL CASO COLOMBIANO**

2011	Septiembre	6.479	0,92	2014	Septiembre	5.298	0,11
2011	Octubre	7.632	1,70	2014	Octubre	5.702	0,39
2011	Noviembre	12.420	4,97	2014	Noviembre	5.362	0,15
2011	Diciembre	13.340	5,60	2014	Diciembre	6.034	0,61
2012	Enero	5.857	0,49	2015	Enero	2.118	- 2,06
2012	Febrero	5.497	0,25	2015	Febrero	7.634	1,71
2012	Marzo	5.997	0,59	2015	Marzo	5.599	0,32
2012	Abril	4.861	- 0,19	2015	Abril	4.974	- 0,11
2012	Mayo	5.469	0,23	2015	Mayo	5.323	0,13
2012	Junio	5.326	0,13	2015	Junio	5.106	- 0,02
2012	Julio	5.504	0,25	2015	Julio	6.091	0,65
2012	Agosto	5.909	0,53	2015	Agosto	5.761	0,43
2012	Septiembre	5.759	0,43	2015	Septiembre	6.171	0,71
2012	Octubre	5.840	0,48	2015	Octubre	6.244	0,76
2012	Noviembre	6.036	0,61	2015	Noviembre	5.878	0,51
2012	Diciembre	5.670	0,36	2015	Diciembre	6.472	0,91
2013	Enero	5.334	0,14	2016	Enero	5.190	0,04
2013	Febrero	4.882	- 0,17	2016	Febrero	5.355	0,15
2013	Marzo	4.230	- 0,62	2016	Marzo	5.080	- 0,04
2013	Abril	4.986	- 0,10	2016	Abril	5.496	0,25
2013	Mayo	5.067	- 0,05	2016	Mayo	5.451	0,22
2013	Junio	4.563	- 0,39	2016	Junio	5.355	0,15
2013	Julio	5.231	0,07	2016	Julio	5.402	0,18
2013	Agosto	5.255	0,08	2016	Agosto	5.799	0,45
2013	Septiembre	4.994	- 0,10	2016	Septiembre	5.791	0,45
2013	Octubre	5.404	0,18	2016	Octubre	5.534	0,27
2013	Noviembre	5.055	- 0,06	2016	Noviembre	5.486	0,24
2013	Diciembre	5.384	0,17	2016	Diciembre	5.629	0,34

Año	Mes	CAT II	Puntuación Z
2017	Enero	4.575	- 0,38
2017	Febrero	4.303	- 0,57
2017	Marzo	4.943	- 0,13
2017	Abril	4.266	- 0,59
2017	Mayo	4.442	- 0,47
2017	Junio	4.552	- 0,40
2017	Julio	5.211	0,05
2017	Agosto	4.904	- 0,16
2017	Septiembre	4.794	- 0,23
2017	Octubre	5.334	0,14
2017	Noviembre	4.947	- 0,13
2017	Diciembre	5.152	0,01
2018	Enero	4.846	- 0,20
2018	Febrero	4.710	- 0,29
2018	Marzo	5.029	- 0,07
2018	Abril	5.399	0,18
2018	Mayo	5.143	0,00
2018	Junio	4.716	- 0,29
2018	Julio	5.197	0,04
2018	Agosto	5.386	0,17
2018	Septiembre	5.426	0,20
2018	Octubre	5.582	0,30
2018	Noviembre	5.745	0,42
2018	Diciembre	5.896	0,52



Por ejemplo, para estimar la puntuación Z de diciembre de 2010, el procedimiento es el siguiente

$$Z = (15.859 - 5.136) / 1.464$$
$$Z = 7,32$$

Se considera que un dato es atípico si  $Z < -3$  o  $Z > 3$ .

De los 4 candidatos identificados gráficamente como datos atípicos, solamente 3 de ellos resultan ser datos atípicos, luego de la aplicación de la puntuación Z: diciembre de 2010, noviembre y diciembre de 2011, tal como se encuentran señalados en las tablas anteriores.



En caso en que los datos atípicos sean explicados por algún fenómeno particular en dichas fechas, se conservarán los datos intactos. En caso contrario, se deberá extrapolar el dato atípico con base en el promedio de crecimiento de ese mes, en los años anteriores.

#### » **Identificación de las variables independientes del modelo**

Para efectos de esta metodología y la aplicación del modelo econométrico se debe contar como mínimo con información histórica y proyecciones (futuras), con la misma temporalidad que la serie de demanda (mensual), de las siguientes variables:

1. **Variable macroeconómica:** PIB real mensual en millones.
2. **Tarifas en pesos constantes:** (mismos términos del PIB – no se asumen incrementos por fuera de lo normal en las proyecciones, que normalmente es IPC).

### 3. Proporción de días hábiles sobre días totales del mes.

**4. Variable Dummy para datos atípicos que son fácilmente explicados:**  
 (en la proyección se asume como 0 - solo se incluye si la serie cuenta con datos atípicos que tengan explicación de acuerdo con el contexto y desarrollo de la información histórica del proyecto).

Año	Mes	Días del Mes	Días Hábiles	PIB	Tarifas	Proporción días hábiles
2005	Enero	31	20	42.207	8.400	0,65
2005	Febrero	28	20	42.207	8.400	0,71
2005	Marzo	31	20	42.207	8.400	0,65
2005	Abril	30	22	42.663	8.400	0,73
2005	Mayo	31	20	42.663	8.400	0,65
2005	Junio	30	21	42.663	8.400	0,70
2005	Julio	31	19	42.841	8.400	0,61
2005	Agosto	31	22	42.841	8.400	0,71
2005	Septiembre	30	22	42.841	8.400	0,73
2005	Octubre	31	20	43.707	8.400	0,65
2005	Noviembre	30	20	43.707	8.400	0,67
2005	Diciembre	31	22	43.707	8.400	0,71
2006	Enero	31	21	44.548	8.600	0,68
2006	Febrero	28	20	44.548	8.600	0,71
2006	Marzo	31	22	44.548	8.600	0,71
2006	Abril	30	18	45.049	8.600	0,60
2006	Mayo	31	21	45.049	8.600	0,68
2006	Junio	30	20	45.049	8.600	0,67
2006	Julio	31	19	46.335	8.600	0,61
2006	Agosto	31	21	46.335	8.600	0,68
2006	Septiembre	30	22	46.335	8.600	0,73
2006	Octubre	31	21	47.106	8.600	0,68



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN** DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - **EL CASO COLOMBIANO**

Año	Mes	Días del Mes	Días Hábiles	PIB	Tarifas	Proporción días hábiles
2006	Noviembre	30	20	47.106	8.600	0,67
2006	Diciembre	31	19	47.106	8.600	0,61
2007	Enero	31	21	47.636	8.600	0,68
2007	Febrero	28	20	47.636	8.600	0,71
2007	Marzo	31	22	47.636	8.600	0,71
2007	Abril	30	19	48.295	8.600	0,63
2007	Mayo	31	21	48.295	8.600	0,68
2007	Junio	30	20	48.295	8.600	0,67
2007	Julio	31	20	49.524	8.600	0,65
2007	Agosto	31	21	49.524	8.600	0,68
2007	Septiembre	30	20	49.524	8.600	0,67
2007	Octubre	31	22	50.119	8.600	0,71
2007	Noviembre	30	20	50.119	8.600	0,67
2007	Diciembre	31	20	50.119	8.600	0,65
2008	Enero	31	21	50.468	8.500	0,68
2008	Febrero	29	20	50.468	8.500	0,69
2008	Marzo	31	18	50.468	8.500	0,58
2008	Abril	30	22	50.298	8.500	0,73
2008	Mayo	31	20	50.298	8.500	0,65
2008	Junio	30	19	50.298	8.500	0,63
2008	Julio	31	23	51.081	8.500	0,74
2008	Agosto	31	19	51.081	8.500	0,61
2008	Septiembre	30	22	51.081	8.500	0,73
2008	Octubre	31	22	50.098	8.500	0,71
2008	Noviembre	30	18	50.098	8.500	0,60
2008	Diciembre	31	21	50.098	8.500	0,68
2009	Enero	31	20	50.557	8.900	0,65
2009	Febrero	28	20	50.557	8.900	0,71
2009	Marzo	31	21	50.557	8.900	0,68

Año	Mes	Días del Mes	Días Hábiles	PIB	Tarifas	Proporción días hábiles
2009	Abril	30	20	50.882	8.900	0,67
2009	Marzo	31	21	50.557	8.900	0,68
2009	Abril	30	20	50.882	8.900	0,67
2009	Mayo	31	19	50.882	8.900	0,61
2009	Junio	30	19	50.882	8.900	0,63
2009	Julio	31	22	51.243	8.900	0,71
2009	Agosto	31	19	51.243	8.900	0,61
2009	Septiembre	30	22	51.243	8.900	0,73
2009	Octubre	31	21	51.697	8.900	0,68
2009	Noviembre	30	19	51.697	8.900	0,63
2009	Diciembre	31	21	51.697	8.900	0,68
2010	Enero	31	19	52.271	8.800	0,61
2010	Febrero	28	20	52.271	8.800	0,71
2010	Marzo	31	22	52.271	8.800	0,71
2010	Abril	30	20	52.899	8.800	0,67
2010	Mayo	31	20	52.899	8.800	0,65
2010	Junio	30	20	52.899	8.800	0,67
2010	Julio	31	20	53.453	8.800	0,65
2010	Agosto	31	21	53.453	8.800	0,68
2010	Septiembre	30	22	53.453	8.800	0,73
2010	Octubre	31	20	54.641	8.800	0,65
2010	Noviembre	30	20	54.641	8.800	0,67
2010	Diciembre	31	22	54.641	8.800	0,71
2011	Enero	31	20	55.600	9.400	0,65
2011	Febrero	28	20	55.600	9.400	0,71
2011	Marzo	31	22	55.600	9.400	0,71
2011	Abril	30	19	56.867	9.400	0,63
2011	Mayo	31	22	56.867	9.400	0,71
2011	Junio	30	20	56.867	9.400	0,67



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - EL CASO COLOMBIANO**

Año	Mes	Días del Mes	Días Habiles	PIB	Tarifas	Proporción días habiles
2011	Julio	31	19	58.070	9.400	0,61
2011	Agosto	31	22	58.070	9.400	0,71
2011	Septiembre	30	22	58.070	9.400	0,73
2011	Octubre	31	20	58.429	9.400	0,65
2011	Noviembre	30	20	58.429	9.400	0,67
2011	Diciembre	31	21	58.429	9.400	0,68
2012	Enero	31	21	59.039	9.500	0,68
2012	Febrero	29	21	59.039	9.500	0,72
2012	Marzo	31	22	59.039	9.500	0,71
2012	Abril	30	19	59.595	9.500	0,63
2012	Mayo	31	21	59.595	9.500	0,68
2012	Junio	30	19	59.595	9.500	0,63
2012	Julio	31	20	59.454	9.500	0,65
2012	Agosto	31	21	59.454	9.500	0,68
2012	Septiembre	30	20	59.454	9.500	0,67
2012	Octubre	31	22	59.814	9.500	0,71
2012	Noviembre	30	20	59.814	9.500	0,67
2012	Diciembre	31	20	59.814	9.500	0,65
2013	Enero	31	21	60.953	9.500	0,68
2013	Febrero	28	20	60.953	9.500	0,71
2013	Marzo	31	18	60.953	9.500	0,58
2013	Abril	30	22	62.175	9.500	0,73
2013	Mayo	31	21	62.175	9.500	0,68
2013	Junio	30	18	62.175	9.500	0,60
2013	Julio	31	22	62.621	9.500	0,71
2013	Agosto	31	20	62.621	9.500	0,65
2013	Septiembre	30	21	62.621	9.500	0,70
2013	Octubre	31	22	63.019	9.500	0,71
2013	Noviembre	30	20	63.019	9.500	0,67
2013	Diciembre	31	21	63.019	9.500	0,68

Año	Mes	Días del Mes	Días Habiles	PIB	Tarifas	Proporción días habiles
2014	Enero	31	21	64.144	9.400	0,68
2014	Febrero	28	20	64.144	9.400	0,71
2014	Marzo	31	20	64.144	9.400	0,65
2014	Abril	30	20	64.692	9.400	0,67
2014	Mayo	31	21	64.692	9.400	0,68
2014	Junio	30	18	64.692	9.400	0,60
2014	Julio	31	23	65.333	9.400	0,74
2014	Agosto	31	19	65.333	9.400	0,61
2014	Septiembre	30	22	65.333	9.400	0,73
2014	Octubre	31	22	66.360	9.400	0,71
2014	Noviembre	30	18	66.360	9.400	0,60
2014	Diciembre	31	21	66.360	9.400	0,68
2015	Enero	31	20	66.200	9.300	0,65
2015	Febrero	28	20	66.200	9.300	0,71
2015	Marzo	31	21	66.200	9.300	0,68
2015	Abril	30	20	66.701	9.300	0,67
2015	Mayo	31	19	66.701	9.300	0,61
2015	Junio	30	19	66.701	9.300	0,63
2015	Julio	31	22	67.473	9.300	0,71
2015	Agosto	31	19	67.473	9.300	0,61
2015	Septiembre	30	22	67.473	9.300	0,73
2015	Octubre	31	21	67.857	9.300	0,68
2015	Noviembre	30	19	67.857	9.300	0,63
2015	Diciembre	31	21	67.857	9.300	0,68
2016	Enero	31	19	68.013	9.600	0,61
2016	Febrero	29	21	68.013	9.600	0,72
2016	Marzo	31	20	68.013	9.600	0,65
2016	Abril	30	21	68.043	9.600	0,70
2016	Mayo	31	20	68.043	9.600	0,65
2016	Junio	30	21	68.043	9.600	0,70



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - EL CASO COLOMBIANO**

Año	Mes	Días del Mes	Días Habiles	PIB	Tarifas	Proporción días habiles
2016	Julio	31	19	68.600	9.600	0,61
2016	Agosto	31	22	68.600	9.600	0,71
2016	Septiembre	30	22	68.600	9.600	0,73
2016	Octubre	31	20	69.173	9.600	0,65
2016	Noviembre	30	20	69.173	9.600	0,67
2016	Diciembre	31	22	69.173	9.600	0,71
2017	Enero	31	21	68.560	9.600	0,68
2017	Febrero	28	20	68.560	9.600	0,71
2017	Marzo	31	22	68.560	9.600	0,71
2017	Abril	30	18	69.239	9.600	0,60
2017	Mayo	31	21	69.239	9.600	0,68
2017	Junio	30	20	69.239	9.600	0,67
2017	Julio	31	19	69.688	9.600	0,61
2017	Agosto	31	21	69.688	9.600	0,68
2017	Septiembre	30	21	69.688	9.600	0,70
2017	Octubre	31	21	70.043	9.600	0,68
2017	Noviembre	30	20	70.043	9.600	0,67
2017	Diciembre	31	19	70.043	9.600	0,61
2018	Enero	31	21	70.348	9.700	0,68
2018	Febrero	28	20	70.348	9.700	0,71
2018	Marzo	31	19	70.348	9.700	0,61
2018	Abril	30	21	70.883	9.700	0,70
2018	Mayo	31	21	70.883	9.700	0,68
2018	Junio	30	19	70.883	9.700	0,63
2018	Julio	31	20	71.467	9.700	0,65
2018	Agosto	31	21	71.467	9.700	0,68
2018	Septiembre	30	20	71.467	9.700	0,67
2018	Octubre	31	22	71.962	9.700	0,71
2018	Noviembre	30	20	71.962	9.700	0,67
2018	Diciembre	31	20	71.962	9.700	0,65

Para el caso carretero, la variable macroeconómica que mejor se relaciona con el tráfico es el PIB. Sin embargo, en el caso de otros sectores se deberá buscar la viable explicativa de la demanda que mejor se ajuste.

Deberá realizarse la tabla anterior por cada una de las categorías del mecanismo de recaudo. Si este no se divide en categorías se realizará la aplicación de acuerdo con el comportamiento de la serie de demanda.

Todas las variables deberán contar con proyecciones hasta el momento en que se culmine el contrato. (Para este ejemplo 5 años). En el caso de la proyección de tarifas, no se incluirán incrementos adicionales a la tarifa vigente al momento de la valoración, en pesos constantes.

Año	Mes	Días del Mes	Días Habiles	PIB	Tarifas	Proporción días habiles
2019	Enero	31	21	72.362	9.600	0,68
2019	Febrero	28	20	72.362	9.600	0,71
2019	Marzo	31	22	72.362	9.600	0,71
2019	Abril	30	19	73.357	9.600	0,63
2019	Mayo	31	21	73.357	9.600	0,68
2019	Junio	30	20	73.357	9.600	0,67
2019	Julio	31	20	74.594	9.600	0,65
2019	Agosto	31	21	74.594	9.600	0,68
2019	Septiembre	30	20	74.594	9.600	0,67
2019	Octubre	31	22	74.594	9.600	0,71
2019	Noviembre	30	20	74.594	9.600	0,67
2019	Diciembre	31	20	74.594	9.600	0,65



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - EL CASO COLOMBIANO**

Año	Mes	Días del Mes	Días Habiles	PIB	Tarifas	Proporción días habiles
2020	Enero	31	21	75.286	9.600	0,68
2020	Febrero	29	20	75.286	9.600	0,69
2020	Marzo	31	18	75.286	9.600	0,58
2020	Abril	30	22	76.321	9.600	0,73
2020	Mayo	31	20	76.321	9.600	0,65
2020	Junio	30	19	76.321	9.600	0,63
2020	Julio	31	23	77.608	9.600	0,74
2020	Agosto	31	19	77.608	9.600	0,61
2020	Septiembre	30	22	77.608	9.600	0,73
2020	Octubre	31	22	77.608	9.600	0,71
2020	Noviembre	30	18	77.608	9.600	0,60
2020	Diciembre	31	21	77.608	9.600	0,68
2021	Enero	31	20	78.478	9.600	0,65
2021	Febrero	28	20	78.478	9.600	0,71
2021	Marzo	31	21	78.478	9.600	0,68
2021	Abril	30	20	79.557	9.600	0,67
2021	Mayo	31	19	79.557	9.600	0,61
2021	Junio	30	19	79.557	9.600	0,63
2021	Julio	31	22	80.898	9.600	0,71
2021	Agosto	31	19	80.898	9.600	0,61
2021	Septiembre	30	22	80.898	9.600	0,73
2021	Octubre	31	21	80.898	9.600	0,68
2021	Noviembre	30	19	80.898	9.600	0,63
2021	Diciembre	31	21	80.898	9.600	0,68
2022	Enero	31	19	81.931	9.600	0,61
2022	Febrero	28	20	81.931	9.600	0,71
2022	Marzo	31	22	81.931	9.600	0,71
2022	Abril	30	20	83.058	9.600	0,67
2022	Mayo	31	20	83.058	9.600	0,65
2022	Junio	30	20	83.058	9.600	0,67

Año	Mes	Días del Mes	Días Habiles	PIB	Tarifas	Proporción días hábiles
2022	Julio	31	20	84.458	9.600	0,65
2022	Agosto	31	21	84.458	9.600	0,68
2022	Septiembre	30	22	84.458	9.600	0,73
2022	Octubre	31	20	84.458	9.600	0,65
2022	Noviembre	30	20	84.458	9.600	0,67
2022	Diciembre	31	22	84.458	9.600	0,71
2023	Enero	31	20	85.454	9.600	0,65
2023	Febrero	28	20	85.454	9.600	0,71
2023	Marzo	31	22	85.454	9.600	0,71
2023	Abril	30	19	86.629	9.600	0,63
2023	Mayo	31	22	86.629	9.600	0,71
2023	Junio	30	20	86.629	9.600	0,67
2023	Julio	31	19	88.089	9.600	0,61
2023	Agosto	31	22	88.089	9.600	0,71
2023	Septiembre	30	22	88.089	9.600	0,73
2023	Octubre	31	20	88.089	9.600	0,65
2023	Noviembre	30	20	88.089	9.600	0,67
2023	Diciembre	31	21	88.089	9.600	0,68

## 2. Suavización y transformación de la serie de demanda

$$Y_t = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{4} (Y'_{t-2} + Y'_{t-1} + Y'_t + Y'_{t+1}) + \frac{1}{4} (Y'_{t-1} + Y'_t + Y'_{t+1} + Y'_{t+2}) \right]$$

La serie de demanda se deberá trabajar en términos diarios. Por tal razón, se debe dividir el valor mensual, por el número de días del mes. Lo anterior, con el objetivo de capturar el efecto sobre la demanda, que puede tener un cambio en el número de días de un mes determinado.

**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - EL CASO COLOMBIANO**

Para efectos de este ejemplo, se presenta la suavización de los primeros años y de los últimos años para la categoría I. Sin embargo, el ejercicio se debe realizar para todos los años y categorías de la serie. Como se observa en la siguiente tabla al realizar la suavización, se pierden los primeros dos datos de la serie, y los últimos dos.

Año	Mes	Días del Mes	Tráfico CAT I	TPD CAT I	Serie Suavizada CAT I	
2005	Enero	31	73.523	2.372	} 1.712	
2005	Febrero	28	46.741	1.669		
2005	Marzo	31	56.362	1.818		
2005	Abril	30	42.453	1.415		1.599
2005	Mayo	31	47.173	1.522		1.606
2005	Junio	30	48.333	1.611	1.651	
2005	Julio	31	59.892	1.932	1.680	
2005	Agosto	31	51.445	1.660	1.677	
2005	Septiembre	30	45.511	1.517	1.645	
2005	Octubre	31	49.119	1.584	1.666	
2005	Noviembre	30	51.281	1.709	1.833	
2005	Diciembre	31	63.440	2.046	1.977	
2006	Enero	31	76.549	2.469	1.984	
2006	Febrero	28	49.854	1.781	1.956	
2006	Marzo	31	48.653	1.569	1.824	
2006	Abril	30	59.009	1.967	1.697	
2006	Mayo	31	46.153	1.489	1.749	
2006	Junio	30	52.310	1.744	1.788	
2006	Julio	31	62.729	2.024	1.796	
2006	Agosto	31	56.537	1.824	1.823	
2006	Septiembre	30	50.908	1.697	1.806	
2006	Octubre	31	54.399	1.755	1.837	

Año	Mes	Días del Mes	Tráfico CAT I	TPD CAT I	Serie Suavizada CAT I
2006	Noviembre	30	56.215	1.874	2.015
2006	Diciembre	31	68.927	2.223	2.172
2007	Enero	31	84.407	2.723	2.192
2007	Febrero	28	55.557	1.984	2.158
2007	Marzo	31	55.866	1.802	2.008
2007	Abril	30	60.705	2.024	1.883
2007	Mayo	31	53.312	1.720	1.920
2007	Junio	30	59.714	1.990	1.945
2007	Julio	31	64.702	2.087	1.945
2007	Agosto	31	60.209	1.942	1.937
2007	Septiembre	30	53.967	1.799	1.904
2007	Octubre	31	57.325	1.849	1.956
2007	Noviembre	30	59.033	1.968	2.139
2007	Diciembre	31	76.655	2.473	2.287

El primer valor de  $Y_t$  suavizada se calcula de la siguiente manera, para la categoría I:

$$Y_t = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{4} (2.372 + 1.669 + 1.818 + 1.415) + \frac{1}{4} (1.669 + 1.818 + 1.415 + 1.522) \right]$$

$$Y_{\text{marzo}2005} = 1.712$$

Año	Mes	Días del Mes	Tráfico CAT I	TPD CAT I	Serie Suavizada CAT I
2014	Enero	31	121.132	3.907	3.339
2014	Febrero	28	79.581	2.842	3.347
2014	Marzo	31	98.359	3.173	3.183
2014	Abril	30	101.213	3.374	3.070
2014	Mayo	31	86.029	2.775	3.079
2014	Junio	30	92.291	3.076	3.031



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN** DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - **EL CASO COLOMBIANO**

Año	Mes	Días del Mes	Tráfico CAT I	TPD CAT I	Serie Suavizada CAT I
2014	Julio	31	93.348	3.011	3.004
2014	Agosto	31	97.733	3.153	3.007
2014	Septiembre	30	83.185	2.773	3.026
2014	Octubre	31	96.249	3.105	3.120
2014	Noviembre	30	93.970	3.132	3.165
2014	Diciembre	31	117.508	3.791	3.401
2015	Enero	31	77.314	2.494	3.676
2015	Febrero	28	147.539	5.269	3.626
2015	Marzo	31	98.158	3.166	3.650
2015	Abril	30	100.648	3.355	3.505
2015	Mayo	31	96.938	3.127	3.311
2015	Junio	30	104.286	3.476	3.334
2015	Julio	31	105.481	3.403	3.309
2015	Agosto	31	102.374	3.302	3.275
2015	Septiembre	30	89.510	2.984	3.271
2015	Octubre	31	103.813	3.349	3.374
2015	Noviembre	30	104.818	3.494	3.640
2015	Diciembre	31	125.072	4.035	3.836
2016	Enero	31	135.829	4.382	3.890
2016	Febrero	29	102.051	3.519	3.801
2016	Marzo	31	116.500	3.758	3.537
2016	Abril	30	91.674	3.056	3.388
2016	Mayo	31	100.760	3.250	3.388
2016	Junio	30	103.724	3.457	3.449
2016	Julio	31	118.332	3.817	3.498
2016	Agosto	31	107.973	3.483	3.487
2016	Septiembre	30	96.505	3.217	3.417
2016	Octubre	31	105.590	3.406	3.392
2016	Noviembre	30	99.325	3.311	3.569
2016	Diciembre	31	117.398	3.787	3.737

## MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO

Año	Mes	Días del Mes	Tráfico CAT I	TPD CAT I	Serie Suavizada CAT I
2017	Enero	31	134.236	4.330	3.754
2017	Febrero	28	101.770	3.635	3.713
2017	Marzo	31	99.634	3.214	3.507
2017	Abril	30	106.709	3.557	3.295
2017	Mayo	31	90.260	2.912	3.299
2017	Junio	30	100.762	3.359	3.303
2017	Julio	31	109.210	3.523	3.314
2017	Agosto	31	101.811	3.284	3.392
2017	Septiembre	30	98.065	3.269	3.407
2017	Octubre	31	112.496	3.629	3.474
2017	Noviembre	30	101.011	3.367	3.706
2017	Diciembre	31	123.388	3.980	3.864
2018	Enero	31	137.249	4.427	3.940
2018	Febrero	28	104.483	3.732	3.935
2018	Marzo	31	120.059	3.873	3.704
2018	Abril	30	103.124	3.437	3.517
2018	Mayo	31	96.784	3.122	3.493
2018	Junio	30	106.277	3.543	3.522
2018	Julio	31	119.972	3.870	3.579
2018	Agosto	31	113.771	3.670	3.616
2018	Septiembre	30	100.322	3.344	3.602
2018	Octubre	31	112.197	3.619	3.675
2018	Noviembre	30	110.260	3.675	
2018	Diciembre	31	137.972	4.451	

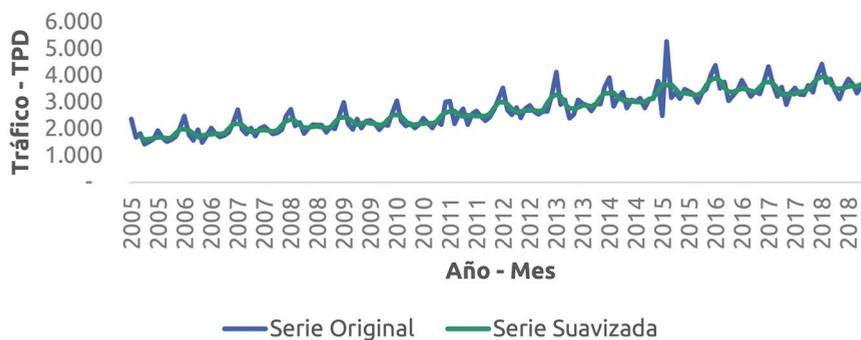


De manera semejante,

$$Y_{\text{octubre2018}} = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{4} (3.670 + 3.344 + 3.619 + 3.675) + \frac{1}{4} (3.344 + 3.619 + 3.675 + 4.451) \right]$$

$$Y_{\text{octubre2018}} = 3.675$$

Gráfico 24: Series Original y Suavizada CAT I



Fuente: Elaboración propia DGCPTN

### 3. Modelo econométrico y proyección de la línea base de la demanda futura

$$\begin{aligned} \hat{Y}_t &= \ln(Y_t) - \ln(Y_{t-12}) \\ &= \beta_0 + \beta_1 \cdot (\ln(PIB_t) - \ln(PIB_{t-12})) \\ &+ \beta_2 \cdot (\ln(tarifas_t) - \ln(tarifas_{t-12})) \\ &+ \beta_3 \cdot \left( \ln\left(\frac{\text{días hábiles}_t}{\text{días totales}_t}\right) - \ln\left(\frac{\text{días hábiles}_{t-12}}{\text{días totales}_{t-12}}\right) \right) + \varepsilon_t \end{aligned}$$

Si se ha definido una variable dummy,  $D_i$ , para considerar un evento que ocurrió en el mes  $i$ , ésta entrará al modelo con valor  $D_i = 1$  para el mes  $i$  y  $D_j = 0$  para los restantes meses  $j$ . Por lo tanto en la ecuación del modelo anterior, se debiera agregar como diferencia interanual ( $D_i - D_{i-12}$ ) multiplicada por un parámetro  $\beta_4$ .

### Categoría I

Estadísticas de la regresión	Coefficiente	Significancia P Valor
$\beta_0$	0.02	0.00
$\beta_1 - PIB$	0.88	0.00
$\beta_2 - Tarifa$	0.25	0.04
$\beta_3 - Proporción días hábiles$	0.01	0.78

### Categoría II

Estadísticas de la regresión	Coefficiente	Significancia P Valor
$\beta_0$	-0.10	0.00
$\beta_1 - PIB$	2.63	0.00
$\beta_2 - Tarifa$	1.52	0.00
$\beta_3 - Proporción días hábiles$	0.08	0.65
$\beta_4 - Dummy$	0.14	0.13

El modelo se debe reestimar eliminando las variables (una a una) que no son significativas o que no cuentan con el signo esperado. En el texto metodológico se definen los criterios para considerar la significancia y el signo esperado de las variables.

### Categoría I

Estadísticas de la regresión	Coefficiente	Significancia P Valor
$\beta_0$	0.023	0.00
$\beta_1 - PIB$	0.922	0.00



### Categoría II

Estadísticas de la regresión	Coefficiente	Significancia P Valor
$\beta_0$	-0.088	0.00
$\beta_1 - PIB$	2.783	0.00
$\beta_4 - Dummy$	0.192	0.04

Se realizan los modelos econométricos y se verifica que los coeficientes sean significativos al menos al 50% y tengan el signo esperado.



En caso en el que la variable macroeconómica no tenga el signo esperado o un nivel de significancia de al menos 50%, no se utilizará el modelo econométrico para la proyección de dicha serie, sino que se fijará el promedio de demanda (suavizada) de los últimos 12 meses para efectos de la proyección.

#### » Proyección de la línea base de la demanda futura Categoría I

Con base en los coeficientes hallados en el modelo econométrico, se debe estimar la línea de demanda histórica, para así hallar los errores de la estimación.

Año	Mes	Serie Suvizada	Línea base (tendencia histórica modelo)	Error de estimación
2005	Enero			
2005	Febrero			
2005	Marzo	1.712		
2005	Abril	1.599		
2005	Mayo	1.606		
2005	Junio	1.651		
2005	Julio	1.680		
2005	Agosto	1.677		
2005	Septiembre	1.645		
2005	Octubre	1.666		
2005	Noviembre	1.833		
2005	Diciembre	1.977		
2006	Enero	1.984		
2006	Febrero	1.956		
2006	Marzo	1.824	1.841	17
2006	Abril	1.697	1.719	23
2006	Mayo	1.749	1.727	22
2006	Junio	1.788	1.775	13

$$\hat{Y}_t = e^{(\beta_0 + \beta_1 * (\ln(PIB_t) - \ln(PIB_{t-12})))} * Y_{t-12}$$

$$\hat{Y}_t = e^{(0.023 + 0.922 * 0.05)} * 1.712$$

$$\hat{Y}_t = 1.841$$

$$|\varepsilon_t| = |Y_t - \hat{Y}_t|$$

$$|\varepsilon_t| = |1.824 - 1.841|$$

$$|\varepsilon_t| = 17$$



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN** DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - **EL CASO COLOMBIANO**

Año	Mes	Serie Suvizada	Linea base (tendencia histórica modelo)	Error de estimación
2006	Julio	1.796	1.848	52
2006	Agosto	1.823	1.843	20
2006	Septiembre	1.806	1.809	3
2006	Octubre	1.837	1.826	12
2006	Noviembre	2.015	2.009	6
2006	Diciembre	2.172	2.166	6
2007	Enero	2.192	2.158	34
2007	Febrero	2.158	2.129	30
2007	Marzo	2.008	1.984	23
2007	Abril	1.883	1.850	33
2007	Mayo	1.920	1.907	12
2007	Junio	1.945	1.950	5
2007	Julio	1.945	1.953	8
2007	Agosto	1.937	1.983	46
2007	Septiembre	1.904	1.964	60
2007	Octubre	1.956	1.990	34
2007	Noviembre	2.139	2.183	44
2007	Diciembre	2.287	2.353	66
2008	Enero	2.352	2.365	12
2008	Febrero	2.305	2.328	23
2008	Marzo	2.134	2.166	32
2008	Abril	2.050	2.000	51
2008	Mayo	2.044	2.038	6
2008	Junio	2.072	2.065	7
2008	Julio	2.093	2.047	47
2008	Agosto	2.064	2.038	26
2008	Septiembre	2.035	2.004	31
2008	Octubre	2.065	2.000	65
2008	Noviembre	2.252	2.187	66
2008	Diciembre	2.408	2.338	70
2009	Enero	2.422	2.410	12
2009	Febrero	2.400	2.362	38

Año	Mes	Serie Suvizada	Línea base (tendencia histórica modelo)	Error de estimación
2009	Marzo	2.262	2.186	75
2009	Abril	2.154	2.119	35
2009	Mayo	2.209	2.113	96
2009	Junio	2.232	2.142	91
2009	Julio	2.205	2.147	57
2009	Agosto	2.181	2.117	64
2009	Septiembre	2.141	2.087	54
2009	Octubre	2.169	2.174	5
2009	Noviembre	2.355	2.371	16
2009	Diciembre	2.507	2.536	29
2010	Enero	2.523	2.555	32
2010	Febrero	2.468	2.531	63
2010	Marzo	2.288	2.385	97
2010	Abril	2.143	2.284	141
2010	Mayo	2.160	2.342	182
2010	Junio	2.195	2.367	171
2010	Julio	2.196	2.344	149
2010	Agosto	2.214	2.319	106
2010	Septiembre	2.201	2.277	75
2010	Octubre	2.272	2.335	62
2010	Noviembre	2.499	2.535	36
2010	Diciembre	2.611	2.698	87
2011	Enero	2.646	2.731	86
2011	Febrero	2.661	2.672	11
2011	Marzo	2.519	2.477	41
2011	Abril	2.453	2.343	110

Cabe resaltar que el 0.05 correspondiente al PIB se obtiene de la diferencia interanual de los logaritmos naturales del PIB. Asimismo, se calculan las demás variables explicativas en caso en que aplicaran.


**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - EL CASO COLOMBIANO**

Año	Mes	Serie Suvizada	Línea base (tendencia histórica modelo)	Error de estimación
2011	Mayo	2.514	2.362	152
2011	Junio	2.494	2.400	93
2011	Julio	2.477	2.424	53
2011	Agosto	2.480	2.444	36
2011	Septiembre	2.472	2.430	42
2011	Octubre	2.563	2.472	91
2011	Noviembre	2.799	2.718	81
2011	Diciembre	2.989	2.841	148
2012	Enero	2.998	2.860	138
2012	Febrero	2.929	2.877	52
2012	Marzo	2.746	2.723	23
2012	Abril	2.610	2.620	10
2012	Mayo	2.659	2.684	26
2012	Junio	2.686	2.663	23
2012	Julio	2.686	2.589	97
2012	Agosto	2.692	2.592	100
2012	Septiembre	2.653	2.584	69
2012	Octubre	2.698	2.679	19
2012	Noviembre	2.966	2.925	41
2012	Diciembre	3.195	3.124	72
2013	Enero	3.281	3.157	124
2013	Febrero	3.232	3.085	147
2013	Marzo	2.931	2.892	39
2013	Abril	2.757	2.776	19
2013	Mayo	2.761	2.828	67
2013	Junio	2.802	2.856	55
2013	Julio	2.875	2.882	7
2013	Agosto	2.870	2.888	18
2013	Septiembre	2.847	2.847	1
2013	Octubre	2.931	2.895	36
2013	Noviembre	3.173	3.183	10
2013	Diciembre	3.318	3.429	111

Año	Mes	Serie Suvizada	Linea base (tendencia histórica modelo)	Error de estimación
2014	Enero	3.339	3.518	179
2014	Febrero	3.347	3.465	117
2014	Marzo	3.183	3.143	40
2014	Abril	3.070	2.925	146
2014	Mayo	3.079	2.929	150
2014	Junio	3.031	2.972	59
2014	Julio	3.004	3.058	54
2014	Agosto	3.007	3.052	45
2014	Septiembre	3.026	3.028	3
2014	Octubre	3.120	3.144	24
2014	Noviembre	3.165	3.404	239
2014	Diciembre	3.401	3.559	158
2015	Enero	3.676	3.515	160
2015	Febrero	3.626	3.524	101
2015	Marzo	3.650	3.351	299
2015	Abril	3.505	3.230	275
2015	Mayo	3.311	3.240	71
2015	Junio	3.334	3.189	144
2015	Julio	3.309	3.165	145
2015	Agosto	3.275	3.168	107
2015	Septiembre	3.271	3.188	83
2015	Octubre	3.374	3.258	116
2015	Noviembre	3.640	3.305	335
2015	Diciembre	3.836	3.551	285
2016	Enero	3.890	3.854	36
2016	Febrero	3.801	3.802	1
2016	Marzo	3.537	3.828	290
2016	Abril	3.388	3.652	263
2016	Mayo	3.388	3.449	61
2016	Junio	3.449	3.473	24
2016	Julio	3.498	3.437	61
2016	Agosto	3.487	3.401	86



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN** DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - **EL CASO COLOMBIANO**

Año	Mes	Serie Suvizada	Línea base (tendencia histórica modelo)	Error de estimación
2016	Septiembre	3.417	3.397	21
2016	Octubre	3.392	3.512	120
2016	Noviembre	3.569	3.789	220
2016	Diciembre	3.737	3.993	256
2017	Enero	3.754	4.008	255
2017	Febrero	3.713	3.916	204
2017	Marzo	3.507	3.645	138
2017	Abril	3.295	3.521	227
2017	Mayo	3.299	3.521	222
2017	Junio	3.303	3.584	281
2017	Julio	3.314	3.630	316
2017	Agosto	3.392	3.619	226
2017	Septiembre	3.407	3.546	140
2017	Octubre	3.474	3.510	35
2017	Noviembre	3.706	3.693	13
2017	Diciembre	3.864	3.867	3
2018	Enero	3.940	3.931	9
2018	Febrero	3.935	3.888	47
2018	Marzo	3.704	3.673	32
2018	Abril	3.517	3.444	74
2018	Mayo	3.493	3.448	46
2018	Junio	3.522	3.453	70
2018	Julio	3.579	3.469	110
2018	Agosto	3.616	3.551	65
2018	Septiembre	3.602	3.566	35
2018	Octubre	3.675	3.643	32
2018	Noviembre		3.886	
2018	Diciembre		4.051	

A partir de los errores de estimación,  
se calcula el percentil 95 de estos.

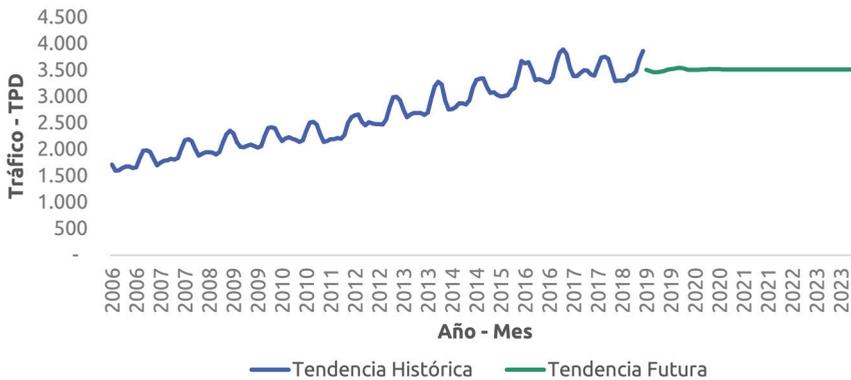
» **Proyección de la línea base de la demanda futura Categoría I (tendencia futura)**

**Gráfico 25. Línea base de demanda Categoría I- Modelo econométrico**



Fuente: Elaboración propia DGCPNT

**Gráfico 26. Línea base de demanda Categoría I (Caso sin PIB)**



Fuente: Elaboración propia DGCPNT

El siguiente paso es agregar los meses, para contar con datos anuales diarios.



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN** DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - **EL CASO COLOMBIANO**

Año	Mes	Línea base (tendencia futura)
2018	Noviembre	3.886
2018	Diciembre	4.051
2019	Enero	4.136
2019	Febrero	4.131
2019	Marzo	3.888
2019	Abril	3.713
2019	Mayo	3.688
2019	Junio	3.718
2019	Julio	3.808
2019	Agosto	3.848
2019	Septiembre	3.832
2019	Octubre	3.885
2019	Noviembre	4.283
2019	Diciembre	4.372
2020	Enero	4.382
2020	Febrero	4.125
2020	Marzo	3.939
2020	Abril	3.912
2020	Mayo	3.944
2020	Junio	4.039
2020	Julio	4.082
2020	Agosto	4.065
2020	Septiembre	4.121
2020	Octubre	4.544
2020	Noviembre	4.638
2020	Diciembre	4.649

47.302

50.440

Año	Mes	Línea base (tendencia futura)
2021	Enero	4.383
2021	Febrero	4.186
2021	Marzo	4.157
2021	Abril	4.191
2021	Mayo	4.293
2021	Junio	4.337
2021	Julio	4.320
2021	Agosto	4.380
2021	Septiembre	4.829
2021	Octubre	4.929
2021	Noviembre	4.940
2021	Diciembre	4.658
2022	Enero	4.455
2022	Febrero	4.424
2022	Marzo	4.461
2022	Abril	4.568
2022	Mayo	4.616
2022	Junio	4.597
2022	Julio	4.661
2022	Agosto	5.138
2022	Septiembre	5.245
2022	Octubre	5.257
2022	Noviembre	4.957
2022	Diciembre	4.740



53.603

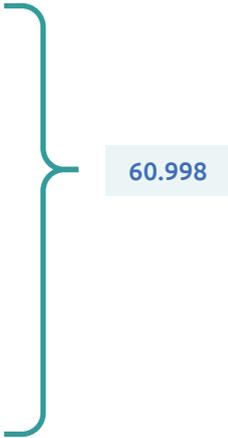


57.120



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN** DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - **EL CASO COLOMBIANO**

Año	Mes	Línea base (tendencia futura)
2023	Enero	4.704
2023	Febrero	4.743
2023	Marzo	4.857
2023	Abril	4.908
2023	Mayo	4.888
2023	Junio	4.956
2023	Julio	5.464
2023	Agosto	5.577
2023	Septiembre	5.590
2023	Octubre	5.271
2023	Noviembre	5.040
2023	Diciembre	5.002



60.998

4. Ajuste de riesgo I: Error de estimación

$$Y_t^{[1]} = \hat{Y}_t - P_{95}(|\varepsilon_t|)$$

Con el percentil 95 de los errores estimados, se halla el ajuste de riesgo I. Para este ejemplo se asumirá que el P95 es 260.

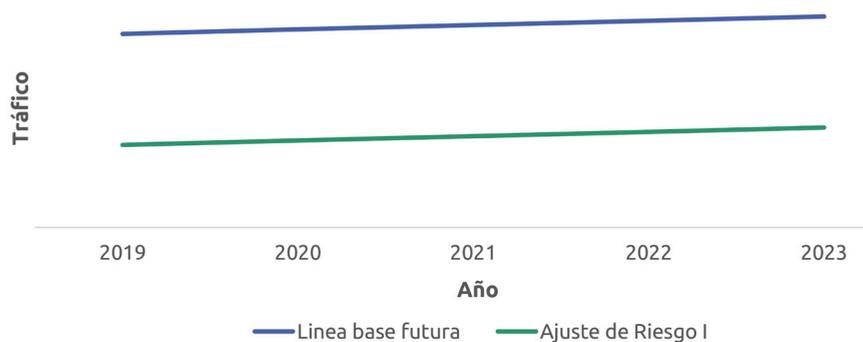
Año	Línea base futura	Ajuste de Riesgo I
2006	18.563	
2007	24.404	
2008	25.575	
2009	26.765	
2010	28.972	
2011	30.315	
2012	32.919	
2013	35.718	
2014	38.196	
2015	39.683	
2016	43.587	
2017	44.060	
2018	44.004	
2019	47.302	47.043
2020	50.440	50.180
2021	53.603	53.344
2022	57.120	56.861
2023	60.998	60.739

$$\begin{aligned}
 &P_{95}(|\varepsilon_t|) \\
 &P_{95}(|260|) \\
 Y_t^{I1} &= 47.302 - 260 = 47.043
 \end{aligned}$$

El ajuste de Riesgo I, es un desplazamiento paralelo de la línea base futura hacia abajo.



Gráfico 27. Ajuste de Riesgo I Categoría I



Fuente: Elaboración propia DGCPTN

## 5. Ajuste de riesgo II: cambio Estructural

Supuestos Cambio Estructural	
Categoría I	86%
$\Theta$	20%
Periodo cambio estructural	2021

El ajuste de riesgos II, para la categoría I se aplica de la siguiente manera, asumiendo que no hay tendencia.

$$M_S = \frac{S_{T+k+1} - S_{T+k}}{S_{T+k}}$$

$$M_S = 86\%$$

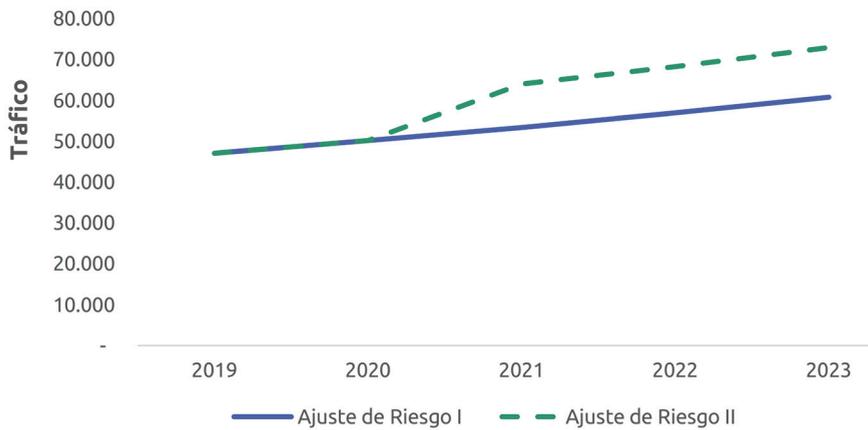
$$Y_t^{[2]} = \begin{cases} Y_t^{[1]} & \text{Si: } t \leq T + k \\ Y_t^{[1]} * (1 + \min(M_S; \theta)) & \text{Si: } t > T + k \end{cases}$$

$$Y_{2021}^{[2]} = 53.344 * (1 + 20\%)$$

$$Y_{2021}^{[2]} = 64.013$$

Lo anterior se aplica para todos los periodos a partir de cuándo se considera el cambio estructural.

Gráfico 28. Ajuste de Riesgo II Categoría I



Fuente: Elaboración propia DGCPTN

Año	Línea base futura	Ajuste de Riesgo I	Ajuste de Riesgo II
2006	18.563		
2007	24.404		
2008	25.575		
2009	26.765		
2010	28.972		
2011	30.315		
2012	32.919		
2013	35.718		
2014	38.196		
2015	39.683		



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - EL CASO COLOMBIANO**

Año	Línea base futura	Ajuste de Riesgo I	Ajuste de Riesgo II
2016	43.587		
2017	44.060		
2018	44.004		
2019	47.302	47.043	47.043
2020	50.440	50.180	50.180
2021	53.603	53.344	64.013
2022	57.120	56.861	68.233
2023	60.998	60.739	72.887



Cambio  
Estructural

En este ejemplo, el Ajuste de riesgo II, multiplicado por 30 (días del mes) para tener valores en niveles iniciales, será la línea del escenario de riesgo que se debe multiplicar por las tarifas respectivas para hallar los ingresos del proyecto, y posteriormente calcular el valor contingente, comparando los ingresos esperados inicialmente, versus los ingresos con el escenario de riesgo.

**CASO 2. Riesgo de Demanda: Información histórica insuficiente o no adecuada**

Información del Proyecto	
Sector	Transporte
Número de peajes	1
Información histórica disponible y adecuada	No
Número de categorías por peaje	2
Plazo	7 años

En el caso de información insuficiente, la línea base de demanda estará determinada por el estudio de demanda inicial (Estructuración)  $E_t$ .



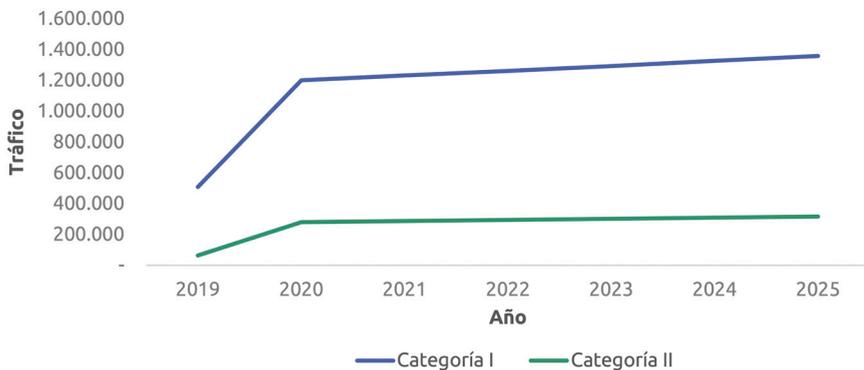
$$\hat{Y}_t = E_t$$

» Línea base de acuerdo con estructuración

Se toma como línea base las estimaciones en niveles presentadas en la estructuración del proyecto (en el caso en el que el estudio de estructuración se presente en otros términos, se deberá ajustar a niveles). Para este caso, se toma tráfico total proyectado por categoría.

Modelo Estructuración	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Categoría I	508.810	1.201.215	1.231.145	1.262.170	1.293.925	1.326.410	1.359.625
Categoría II	64.970	280.320	287.255	294.555	302.220	309.885	317.550

Gráfico 29. Línea base estructuración



Fuente: Elaboración propia DGCPTN



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - EL CASO COLOMBIANO**

» **Ajuste de riesgo I: Errores de la estimación**

$$Y_t^{[1]} = \min(S_t^-; \hat{Y}_t - q \cdot E_t) = \min(S_t^-; E_t - q \cdot E_t)$$

Supuestos	
$q$	30%
Instalación del peaje	2019

Estudio de tráfico actualizado (escenario pesimista)	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Categoría I	279.846	660.668	677.130	694.194	711.659	729.526	747.794
Categoría II	58.473	252.288	258.530	265.100	271.998	278.897	285.795

**Categoría I**

Año	Escenario pesimista estudio de tráfico	Ajuste escenario estructuración
2019	279.846	356.167
2020	660.668	840.851
2021	677.130	861.802
2022	694.194	883.519
2023	711.659	905.748
2024	729.526	928.487
2025	747.794	951.738

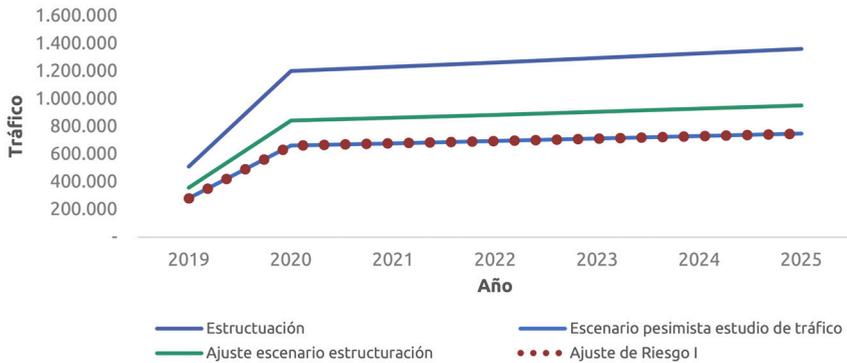
Escenario mínimo

**Categoría II**

Año	Escenario pesimista estudio de tráfico	Ajuste escenario estructuración
2019	58.473	40.931
2020	252.288	176.602
2021	258.530	180.971
2022	265.100	185.570
2023	271.998	190.399
2024	278.897	195.228
2025	285.795	200.057

Escenario mínimo

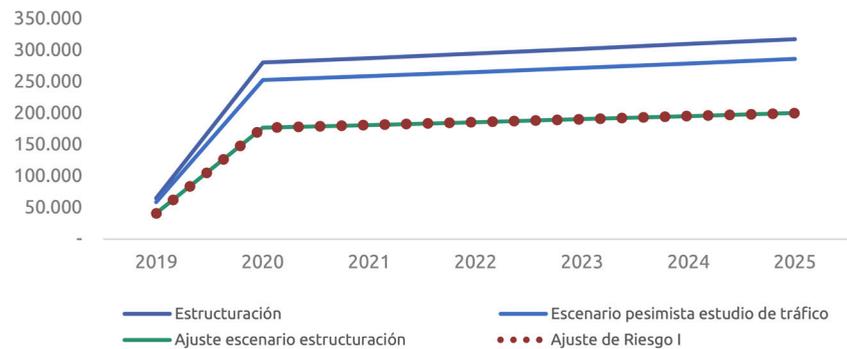
Gráfico 30. Ajuste de Riesgo I – Categoría I



Fuente: Elaboración propia DGCPN

El escenario en riesgo coincide con **el escenario pesimista del estudio de tráfico.**

Gráfico 31. Ajuste de Riesgo I – Categoría II



Fuente: Elaboración propia DGCPN

En este caso el escenario en riesgo coincide con **el escenario de estructuración ajustado**



## » Ajuste de riesgo II: Cambio Estructural

Supuestos Cambio Estructural – CAT I	
$M_S$	136%
$\theta$	20%
Periodo cambio estructural	2.020

Dado que  $\theta$  es menor que  $M_S$ , se debe utilizar  $\theta$  para el ajuste de riesgo II.

$$M_S = \frac{S_{T+k+1} - S_{T+k}}{S_{T+k}}$$

$$M_S = 136\%$$

$$Y_t^{[2]} = \begin{cases} Y_t^{[1]} & \text{Si: } t < T + k \\ Y_{t-1}^{[1]} * (1 + \theta) & \text{Si: } t = T + k \\ Y_{t-1}^{[1]} * (1 + z) & \text{Si: } t > T + k \end{cases}$$

$$Y_{2020}^{[2]} = 279.846 * (1 + 20\%)$$

$$Y_{2020}^{[2]} = 335.815$$

$$Y_{2021}^{[2]} = 335.815 * (1 + 3\%)$$

$$Y_{2021}^{[2]} = 345.890$$

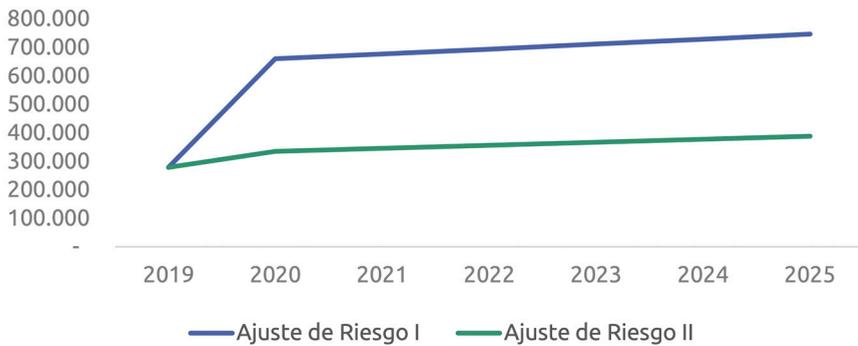
El 3% representa el crecimiento esperado del tráfico para los años posteriores al cambio estructural.

Año	Ajuste de Riesgo I	Ajuste de Riesgo II
2019	279.846	279.846
2020	660.668	335.815
2021	677.130	345.890
2022	694.194	356.266
2023	711.659	366.954
2024	729.526	377.963
2025	747.794	389.302

← Cambio Estructural

El recuadro punteado anterior representa el escenario en riesgo de demanda que se debe utilizar para calcular el valor contingente.

Gráfico 32. Ajuste de Riesgo II – Categoría I



Fuente: Elaboración propia DGCPNTN

El mismo procedimiento se debe realizar con las demás categorías del proyecto.



### CASO 3. Riesgo de tarifas diferenciales: Información histórica disponible

Información del proyecto	
Sector	Transporte
Número de peajes con categoría especial	1
Información histórica disponible y adecuada	Si
Número de categorías especiales por peaje	2
Plazo	7 años

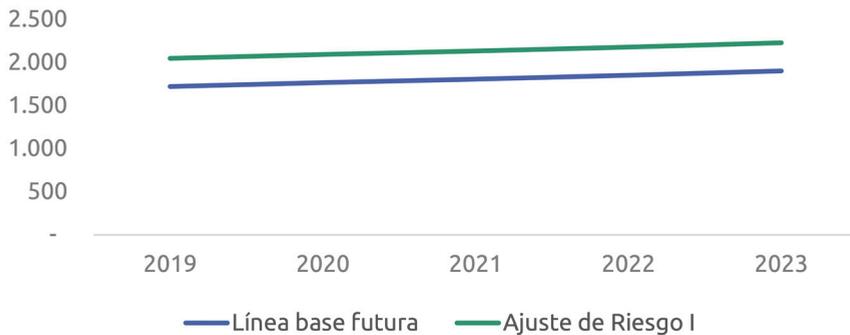
Los pasos 1 a 3 son iguales al CASO 1, pero utilizando la demanda de tráfico diferencial.

» **Ajuste de Riesgo I: error de estimación**

$$Y_t^{[1]} = \hat{Y}_t + P_{95}(|\varepsilon_t|)$$

En este caso de la metodología, el Ajuste de Riesgo I será sumar el P95 de los errores estimados del modelo. Es decir, se presentará un desplazamiento hacia arriba y no hacia abajo de la línea base de demanda futura.

Para este ejemplo se supone la siguiente línea base de demanda de tráfico diferencial, y un  $P_{95} = 326$ . Entonces la gráfica del ajuste de riesgo I, será:

**Gráfico 33. Ajuste de Riesgo I – Tráfico Diferencial**


Fuente: Elaboración propia DGCPNT

**» Ajuste de Riesgo II: Cambio en el comportamiento de la serie**

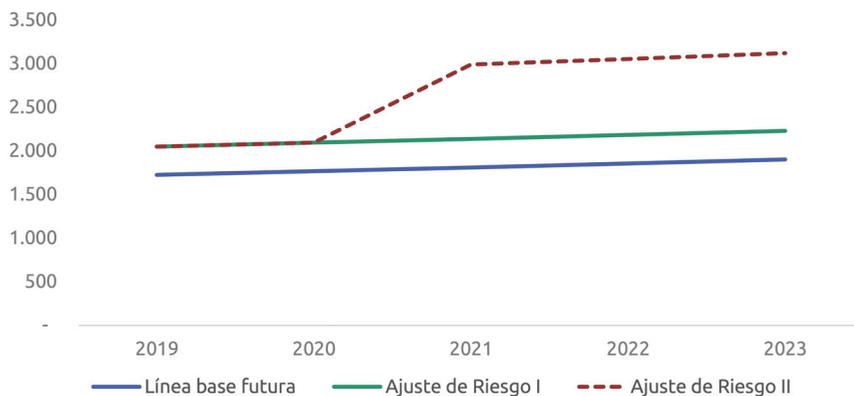
Supuestos cambio comportamiento de la serie	
Aumento en cupos	40%
Año del aumento	2021

El cambio en el comportamiento de la serie consiste en la incorporación de la información formal con la que se cuenta respecto a un cambio en cupos o pasadas de los usuarios beneficiados. Suponga que para la categoría I se plantea incrementar los cupos en un 40%, para el 2021. Lo anterior se traduce en que se espera que exista un 40% más del tráfico observado históricamente, desde el 2021. Este porcentaje se incorpora a la línea derivada del Ajuste de Riesgo I.



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - EL CASO COLOMBIANO**

**Gráfico 34. Ajuste de Riesgo II – Tráfico Diferencial**



Fuente: Elaboración propia DGCPNTN

A partir del Ajuste de Riesgo II se estima el valor contingente, multiplicando dicho tráfico por la tarifa que se deberá compensar por cada carro de categoría especial que transite.

Este procedimiento se deberá realizar por cada categoría especial con la que cuente el proyecto, y en donde haya lugar a compensación.

**CASO 4. Riesgo de Tarifas Diferenciales: información histórica insuficiente y/o no adecuada**

Información del Proyecto	
Sector	Transporte
Número de peajes con categoría especial	2
Información histórica disponible y adecuada	No
Número de categorías especiales por peaje	1
Plazo	7 años

## » Definición de Q (Cantidades)

Peaje 1			Peaje 2		
Modelo Estructuración			Modelo Estructuración		
Año	Categoría I	Categoría IE	Año	Categoría I	Categoría IE
2019	1.165.179	233.036	2019	271.910	N/A
2020	1.201.215	240.243	2020	280.320	N/A
2021	1.231.145	246.229	2021	287.255	N/A
2022	1.262.170	252.434	2022	294.555	N/A
2023	1.293.925	258.785	2023	302.220	N/A
2024	1.326.410	265.282	2024	309.885	N/A
2025	1.359.625	271.925	2025	317.550	N/A

## » Línea base de acuerdo con estructuración

Años	Peaje 1	Peaje 2
2019	233.036	54.382
2020	240.243	56.064
2021	246.229	57.451
2022	252.434	58.911
2023	258.785	60.444
2024	265.282	61.977
2025	271.925	63.510

→  $271.910 * 20\% = 54.382$



Dado que el modelo de estructuración no contempla tarifas diferenciales para el peaje 2, la línea base está determinada por la demanda base de dicha categoría, multiplicada por el parámetro  $r$ , que para efectos de este ejemplo es 20%.



» **Ajuste de riesgo I: Errores de la estimación**

$$Y_t^{[1]} = \max (S_t^+; E_t + q' \cdot E_t)$$

Supuestos errores de la estimación	
q'	15%
Año implementación TD	2.019



Existirá un q' por cada categoría del proyecto.

**Peaje 1**  
**Categoría IE**

Año	Escenario Optimista estudio de tráfico	Ajuste escenario estructuración
2019	279.643	267.991
2020	288.292	276.279
2021	295.475	283.163
2022	302.921	290.299
2023	310.542	297.603
2024	318.338	305.074
2025	326.310	312.714



Escenario máximo

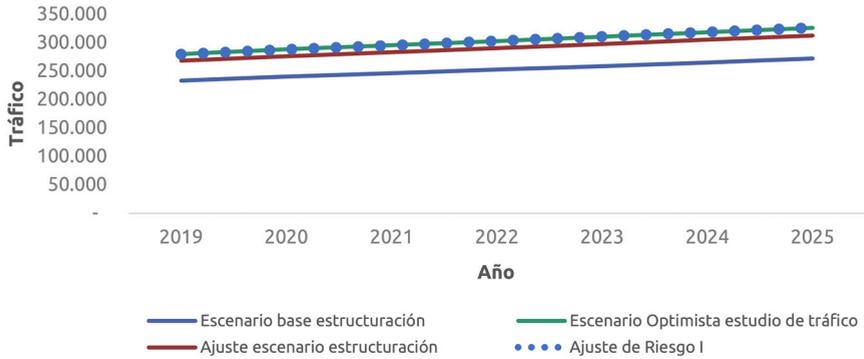
**Peaje 2**  
**Categoría IE**

Año	Escenario Optimista estudio de tráfico	Ajuste escenario estructuración
2019	57.101	62.539
2020	58.867	64.474
2021	60.324	66.069
2022	61.857	67.748
2023	63.466	69.511
2024	65.076	71.274
2025	66.686	73.037



Escenario máximo

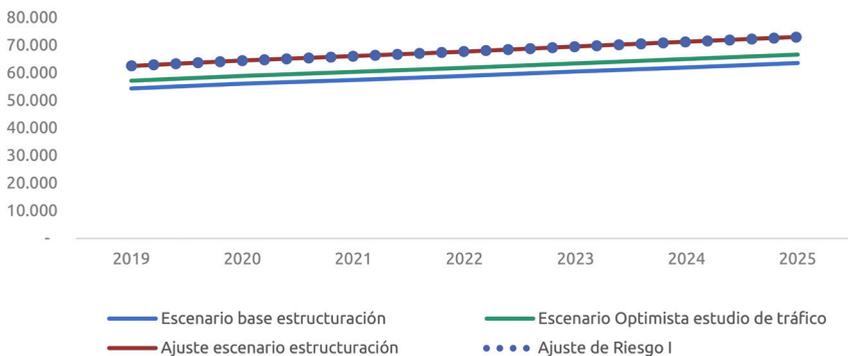
Gráfico 35: Ajuste de Riesgo I Peaje 1



Fuente: Elaboración propia DGCPN

El escenario en riesgo es **el escenario optimista del estudio de tráfico.**

Gráfico 36: Ajuste de Riesgo I Peaje 2



Fuente: Elaboración propia DGCPN

Para este caso, el escenario en riesgo es **el escenario base de estructuración con el choque  $q'$ .**



## » Ajuste de riesgo II: cambio en el comportamiento de la serie

Supuestos Cambio comportamiento de la serie	
Peaje 1	50%
Peaje 2	No

## Peaje 1

Año	Ajuste de Riesgo I	Ajuste de Riesgo II
2019	279.643	419.464
2020	288.292	432.437
2021	295.475	443.212
2022	302.921	454.381
2023	310.542	465.813
2024	318.338	477.508
2025	326.310	489.465

## Peaje 2

Año	Ajuste de Riesgo I
2019	62.539
2020	64.474
2021	66.069
2022	67.748
2023	69.511
2024	71.274
2025	73.037



Al no haber evidencia del cambio en el comportamiento de la serie, no se aplica el Ajuste de riesgo II.

## » Definición de P (Tarifas)

En caso en que haya información formal se utilizará la tarifa de la resolución o el acto administrativo respectivo ( $P_E$ ).



$$P_C = P_T - P_E$$

$P_C \rightarrow$  Tarifa a compensar

En caso en que no haya información se utilizará el mínimo entre la tarifa de estructuración, y la tarifa plena con un choque definido en la página de la subdirección de APP's.



$$P = \min(d \cdot P_T; P_E)$$

$P \rightarrow$  Tarifa diferencial

### **CASO 5. Otros Riesgos: Imposibilidad en el cobro de mecanismos de recaudo – Reubicación de mecanismos de recaudo – Riesgos relacionados con la no obtención de ingresos**

La aplicación de los otros riesgos asociados con ingresos se realiza al igual que en los casos anteriores, atendiendo las particularidades de cada proyecto y el escenario de riesgo asociado.

La revolución de la infraestructura  
en Colombia.  
Fotografía: Cortesía ANI.

---



## Capítulo 8

# Glosario de Términos

---

- » **Cambio en el comportamiento de la serie:** Para efectos de esta metodología, el cambio en el comportamiento de la serie hace referencia a evidencia que pueda ser sustentada, que indique que la serie futura se comportará de una manera diferente a lo que históricamente se ha evidenciado. Este caso aplica únicamente para tarifas diferenciales.
- » **Cambio estructural:** Para efectos de esta metodología, el cambio estructural se entenderá como un cambio en el nivel o la tendencia de la serie de tráfico producto de un cambio coyuntural específico. En este sentido, este cambio estructural debe coincidir con la entrada en operación de la obra, con la habilitación de un nuevo carril o con algún cambio demostrable en el contexto, producto del proyecto. Cabe aclarar que algunos cambios estructurales se pueden presentar en diferentes momentos del tiempo o de manera paulatina. La DGCPN del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, podrá definir los criterios en la página de la Subdirección de APP's, respecto a lo que se considera o no, un cambio estructural.
- » **Estudio de tráfico:** El estudio de tráfico hace referencia a los estudios de demanda actualizados, con que cuente la Entidad Contratante, en el proceso de ejecución del contrato. El estudio de tráfico actualizado que se presente deberá ser el que tenga más relación con la demanda real que se pueda presentar en el corredor. En el caso en que no haya ningún estudio de tráfico luego del estudio de estructuración, se entenderá que se está haciendo referencia al estudio de tráfico, cuando se mencione el término.
- » **Información histórica:** Se entiende que existe información histórica disponible cuando se cuente con 5 años (o 60 meses) consecutivos de información contados hacia atrás a partir del mes anterior al mes de valoración.
- » **Estudio de tráfico de estructuración:** Hace referencia al estudio de demanda con el que se estructuró el proyecto.



**METODOLOGÍA DE VALORACIÓN** DE OBLIGACIONES CONTINGENTES PARA  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA - **EL CASO COLOMBIANO**

---

- » **Niveles:** Hace referencia a una serie sin ninguna alteración de sus valores originales.
- » **Obligación contingente:** Hace referencia a un hecho futuro e incierto, que representa una obligación pecuniaria sometida a condición, conforme lo determina el Decreto 1068 de 2015, o la norma que modifique o reemplace.
- » **Sobrecostos:** Hace referencia a la diferencia entre el presupuesto inicialmente contemplado en la estructuración del proyecto y su respectiva actualización en el tiempo. En los casos en los que dicha actualización arroje un presupuesto inferior al que se contempló inicialmente, se asumirá que el valor del sobrecosto es 0. En ningún caso se podrán utilizar valores negativos para los cálculos descritos en la metodología.

## Capítulo 9

# Bibliografía

---

Gujarati, D. y Porter, D. (2009). *Econometría*. Quinta edición. McGraw Hill, Nueva York.

McMullen, B. y Eckstein, N. (2012). Relationship between vehicle miles traveled and economic activity. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2297, 21-28 (doi: 10.3141/2297-03).

Ministerio de Hacienda y Crédito Público (2004). *Manual para la Valoración de Pasivos Contingentes: Proyectos de Infraestructura*. MHCP, Bogotá.

Ministerio de Hacienda y Crédito Público (2011). *Metodología de Valoración y Seguimiento de Riesgos en Contratos Estatales*. MHCP, Bogotá.

Ministerio de Hacienda y Crédito Público (2012). *Obligaciones Contingentes: Metodologías del Caso Colombiano*. MHCP, Bogotá.

Newbold, C., Carlson, W. y Thorne, B. (2008) *Estadística para Administración y Economía*. Pearson Educación S.A., Madrid.

Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L.G. (2011) *Modelling Transport*. Cuarta Edición. John Wiley & Sons, Chichester.

Oum, T.H. (1989) Alternative demand models and their elasticity estimates. *Journal of Transport Economics and Policy* 23, 163-187.

Garvey, Book & Covert, *Probability Methods for Cost Uncertainty Analysis*, CRC Press, 2nd edition, 2016. Erkoyuncu et al, Uncertainty driven service cost estimation support at the bidding stage, *International Journal of Production Research*, Vol. 51, 2013.

Software, V. and Software, V. (2019). Vose Software. [online] Vosesoftware.com. Disponible en: <https://www.vosesoftware.com/riskwiki/ModifiedPERTdistribution.php> [Ingresado 30 Oct. 2019].



El emprendimiento  
es de todos

Minhacienda



## MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO

📍 Carrera 8 No. 6 C - 38 | Código Postal 111711

☎ (57 1) 381 1700

✉ [atencioncliente@minhacienda.gov.co](mailto:atencioncliente@minhacienda.gov.co)  
Bogotá D.C., Colombia

🌐 [www.minhacienda.gov.co](http://www.minhacienda.gov.co)



GRUPO BANCO MUNDIAL



U.S. DEPARTMENT OF THE TREASURY



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza en Colombia  
Cooperación Económica y Desarrollo (SECO)