



**CONSULTORIA DE APOYO PARA LA  
PREPARACIÓN DEL PRESTAMO DE PROGRAMA DE  
REFORMA DE POLITICAS DEL SECTOR TRANSPORTE  
FASE II (BO- L1112), EVALUACIÓN ECONOMICA,  
REVISIÓN TÉCNICA REFORMA DE POLITICAS**

**INFORME ECONÓMICO**

Noviembre 2016



### Control de emisión de documentos

<b>Documento:</b> Informe EvEco_2016_r08v01.docx			
Emisión para:	Elaborada por: JEC	Documento	Evaluated por: FB
<input type="checkbox"/> Revisión	<input type="checkbox"/> CON observaciones	<input type="checkbox"/> SIN observaciones	
<input type="checkbox"/> Verificación	<input type="checkbox"/> NO conforme	<input checked="" type="checkbox"/> Conforme	
<input checked="" type="checkbox"/> Entrega al cliente			

R51 V01

## Índice

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. CÁLCULO DE COSTOS Y BENEFICIOS.....	7
2.1. Reglamentación para la internación de vehículos bajo normas EURO o equivalentes .....	7
2.2. Mejoras en la seguridad vial.....	27
2.3. Mejoras en las condiciones de la red vial.....	36
2.4. Programa de mantenimiento de aeropuertos .....	55
3. RESULTADOS .....	67
4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	71
5. CONCLUSIONES .....	82

## 1. INTRODUCCIÓN

Entre las prioridades del Gobierno de Bolivia en materia de infraestructura, una de las más relevantes es la de mejorar el sistema de transportes, con las líneas de acción establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo (PND). Para conseguirlo, ha solicitado al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) la preparación de un Contrato de Préstamo con un Programa de Reforma de Políticas del Sector Transporte, cuya primera fase fue aprobada en 2014 bajo la operación BO-L1089 y cuya segunda fase está en proceso de preparación y se prevé llevar a consideración del Directorio Ejecutivo del Banco en 2017. El objetivo de este Programa es fortalecer y consolidar el sector transporte a través de la profundización y ampliación de las propuestas establecidas en el PND. Las acciones de política a ser desarrolladas se agrupan en tres grandes áreas: i) ampliación de la oferta de transporte; ii) conservación del patrimonio existente; y iii) normatividad sectorial.

El programa de reformas tiene cuatro componentes básicos, que comprenden conjuntos de políticas destinadas a optimizar las condiciones del sector. En primer lugar, se establece la necesidad de actualizar el marco normativo general que se deriva de la Ley 165, para que permita planificar de manera eficaz y eficiente las políticas de transporte, asignando responsabilidades y definiendo los lineamientos generales para el desarrollo del sector. En segundo lugar, el programa comprende la conformación del marco regulatorio específico para las distintas modalidades de transporte: terrestre, ferroviario, aéreo, y acuático. En cada caso, las políticas procuran optimizar las regulaciones a fin de apuntalar el progreso de cada área para contribuir al desarrollo social y económico del país.

El objetivo de este trabajo es realizar la actualización de evaluación económica encomendada en el 2013 bajo el Contrato de Préstamo de las políticas componentes del mentado Programa de Reformas de Políticas del Sector Transporte BO-L1089. En su momento, el Estudio permitió demostrar que los efectos del cambio regulatorio no sólo eran positivos para el Sector de Transporte, sino también para la economía en su conjunto.

Dadas las características del préstamo, muchas de las políticas que forman parte de la matriz no son evaluables desde la economía, ya que los resultados de las mismas no son pasibles de medir monetariamente, a saber:

- 3.2 Implementación del Plan Sectorial de Desarrollo Integral de TSP 2016-2020,
- 3.3 Regulación y fiscalización de los servicios de transporte público terrestre,
- 3.10 Reglamento de la ley sobre el derecho de vía para carreteras,
- 3.11 Regulación y fiscalización del transporte ferroviario,
- 3.13 Reglamentación del manual ambiental de construcción de vías férreas,
- 3.14 Regulación y fiscalización del servicio de transporte aéreo,
- 3.16 Actualización de la Reglamentación Aeronáutica Boliviana,
- 3.17 Reglamentación de la ley que actualiza la Ley de Aeronáutica Civil Nº 2902,
- 3.21 Regulación y fiscalización del transporte público acuático,
- 3.22 Implementación de la Ley 165 para la modalidad acuática,
- 3.290 Guía del estado del derecho de vía en la RVF.

Existe otro conjunto de políticas que podrían ser evaluables, pero no se cuenta con la información necesaria para monetizarlas y realizar en consecuencia una adecuada evaluación. No obstante, su acción contribuye a mejorar los resultados buscados, ya que son complementarias de las políticas evaluadas. Por tanto su no consideración está dentro de un escenario conservador. Estas se listan a continuación:

- 3.6/3.13 Implementación del reglamento para el transporte de cargas peligrosas por carretera y vía férrea,
- 3.6/3.13 Implementación del Reglamento para el transporte de cargas peligrosas,
- 3.15 Implementación de la guía de preparación de planes maestros aeroportuarios,
- 3.18 Implementación de la guía de gestión ambiental para la operación de aeropuertos,
- 3.20 Actualización del Plan de Navegación Aérea,
- 3.30 Guía de pasivos ambientales en la RVF completa y actualizada.

En consecuencia, la evaluación hizo foco en las políticas principales del Programa, cuyos resultados pueden ser económicamente mensurables con la información disponible a la fecha. A continuación se listan las políticas incluidas en la presente evaluación, agrupadas por temas:

- **Mejoras en la eficiencia del parque automotor**
  - ✓ 2.6 Reglamentación para la internación de vehículos bajo normas EURO o equivalentes,
  - ✓ 3.5 Implementación del mecanismo de verificación de emisiones de los vehículos nuevos.
- **Mejoras en la seguridad vial**
  - ✓ 3.4 Implementación del sistema nacional de revisión técnica vehicular,
  - ✓ 3.7 Aprobación del marco normativo del Plan Nacional de Seguridad Vial,
  - ✓ 3.8 Fiscalización de la implementación de mecanismos que contribuyan a la prevención de accidentes,
  - ✓ 3.28 Programa de intervención en puntos críticos.
- **Mejoras en las condiciones de la red vial**
  - ✓ 3.9 Estaciones de control de pesos y dimensiones vehiculares en operación,
  - ✓ 3.25 Inventario vial completo y actualizado,
  - ✓ 3.27 Intervenciones de conservación vial priorizadas.
- **Mejoras en el mantenimiento de aeropuertos**
  - ✓ 3.19 Aprobación del Plan de inversión para mantenimiento de aeropuertos.

Para llevar a cabo la actualización de la evaluación, se volvieron a estimar costos y beneficios sociales, utilizando los últimos reportes e información disponible. A partir de la nueva información se espera obtener un resultado más preciso y robusto sobre el efecto del cambio regulatorio. Se presentan en la evaluación económica los costos en los que se deberá incurrir en cada año del horizonte de trabajo para llevar a cabo el desarrollo de las políticas, así como las consecuencias (tanto costos como beneficios) que las mismas reportarán. Cabe aclarar que

dichas consecuencias no necesariamente se harán efectivas en el momento en que se apliquen las políticas, dado que existen elementos que requieren tiempo para mostrar resultados, mientras que en otros casos los efectos tienen una evolución vinculada a un proceso de maduración que puede no ser lineal o depender de otros factores.

Tanto costos como beneficios fueron revisados, y en el caso de contar con nueva o mejor información, ésta se ha modificado. A partir de la monetización de los efectos esperados, se construyen los flujos de ganancias y pérdidas en el tiempo (con un horizonte temporal de 20 años), los cuales son agregados utilizando una tasa de descuento (12%), para obtener así el valor presente de cada uno de los componentes que forman parte de la evaluación. De tal modo, se volvió a estimar el Valor Actual Neto (VAN) de la implementación del Programa y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

En la evaluación se contabilizaron los efectos de las políticas mediante la comparación de la situación “Con Proyecto” (CP) con la situación “Sin Proyecto” (SP). Esta última surge de predecir qué ocurriría en el futuro si no se aplicaran las políticas propuestas. Los cambios que se espera generarán las políticas se midieron entonces con respecto a un escenario dinámico, que cambia con el paso del tiempo, y la evolución de las variables económicas que determinan el nivel de demanda, así como los valores de elementos determinantes en la evaluación como el tiempo o el precio de los factores.<sup>1</sup>

En este contexto, el presente informe sigue con la metodología desarrollada en la Fase I (2013) y actualiza los insumos de la Evaluación Económica. A continuación se detalla cómo fueron estimados los costos y los beneficios de las políticas incluidas en el Programa y se muestran luego los resultados de la evaluación económica.

Teniendo en cuenta la diversidad de elementos evaluados así como de hipótesis e insumos considerados, se realizó un análisis de sensibilidad de tipo Montecarlo, más adaptado que un análisis por escenario. Este análisis permite identificar el impacto agregado e individual de cada una de las principales variables de la presente evaluación económica sobre el VAN y la TIR obtenida para un caso “base” y así identificar aquellas variables decisivas para los resultados de esta evaluación.

---

<sup>1</sup> “Manual de Evaluación Económica de Proyectos de Transporte” (BID, 2006)

## 2. CÁLCULO DE COSTOS Y BENEFICIOS

En primer lugar, cabe destacar que los resultados de algunas de las políticas componentes del préstamo tienen la particularidad de ser interdependientes. Así, por ejemplo, una mejora en el estado de la red vial depende tanto del control de pesos por eje como de la existencia de un inventario vial calificado y actualizado que permita llevar a cabo con mayor eficiencia el trabajo de mantenimiento. Es por esto que no se presentan los beneficios particulares de cada política sino por tópicos, donde pueden hallarse los resultados de un conjunto de políticas complementarias.

Asimismo, es importante aclarar que los cálculos se realizaron a partir de precios sombra, los cuales incluyen los costos sociales además de los privados. Esta forma de cálculo es más adecuada porque representa el costo de oportunidad de llevar a cabo una política, o en otras palabras el costo real que implica para la sociedad. Los ajustes se realizaron tomando como referencia los valores estipulados por el Ministerio de Hacienda de Bolivia en su resolución 159 del 2006, donde se detallan los factores de ajuste para los siguientes conceptos:

- Razón Precio Cuenta de la Eficiencia de la Divisa: 1.24
- Razón Precio Cuenta de la Mano de Obra No Calificada Rural: 0.47
- Razón Precio Cuenta de la Mano de Obra No Calificada Urbana: 0.23
- Razón Precio Cuenta de la Mano de Obra Calificada: 1.00
- Razón Precio Cuenta de la Mano de Obra Semi Calificada: 0.43
- Tasa de Costo promedio Ponderado del Capital: 12.81%

Este criterio se aplica a lo largo de todo el documento.

Esta evaluación económica, considera un lapso de tiempo desde el momento que las políticas se ponen en marcha de 20 años y una tasa de descuento de 12%. Es decir, se supone que las inversiones comienzan a generarse a partir del 2019 y que en el 2020 se generan los primeros efectos como resultado del cambio regulatorio y la evaluación finaliza en el año 2039.

### 2.1. Reglamentación para la internación de vehículos bajo normas EURO o equivalentes

Esta medida (Política 2.6 Reglamentación para la internación de vehículos bajo normas EURO o equivalentes) busca normar la importación de vehículos a fin de disminuir la tasa de crecimiento de las emisiones vehiculares, dado que actualmente no existen en Bolivia normativas que regulen las importaciones de vehículos desde un punto de vista ambiental. La creación e implementación de una nueva reglamentación que regule la importación de vehículos bajo normas EURO IV -o equivalentes- permitirá modificar el parque automotor nuevo del país, tornándolo menos contaminante. A su vez, la regulación provee mecanismos para la verificación de las emisiones gaseosas producidas por los nuevos vehículos.

Para instrumentar las mejoras en el parque automotor, el estado está trabajando para poner en marcha dos reglamentos. Los mismos estarán vigentes a partir del año 2019 y se supone que los efectos comenzarán a materializarse al año de su desarrollo e implementación. A continuación se listan estas políticas:



- ✓ 2.6 Reglamentación para la internación de vehículos bajo normas EURO o equivalentes,
- ✓ 3.5 Implementación del mecanismo de verificación de emisiones de los vehículos nuevos.

### **2.1.1. Hipótesis y consideraciones para la evaluación**

Los beneficios esperados de tal medida son ambientales, dado que la normativa apunta a disminuir las emisiones vehiculares de los vehículos que se suman al parque automotor existente. La estimación de los beneficios esperados de este descenso en las emisiones se realizó siguiendo metodologías utilizadas anteriormente para trabajos similares<sup>2</sup> que consisten en obtener de forma separada los beneficios relacionados con los contaminantes locales y los relacionados con los contaminantes globales. Las emisiones producidas por la circulación de los vehículos repercuten en la salud de los habitantes y globalmente, deteriorando el medio ambiente. En particular el material particulado (MP), Nox, Sox tiene efectos negativos sobre la salud de las personas, generado problemas respiratorios, asma e incluso incentivan el desarrollo de cáncer. Por otra parte, la combustión de los vehículos produce emisiones de Co2, que forma parte de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y por lo tanto, su emisión acelera el proceso de cambio climático. Los costos de estas emisiones estarán valuadas no por sus costos directos, pero por el precio de mercado de los bonos de carbono.

El primero de este grupo de beneficios proviene de la baja en las emisiones que tienen repercusiones sobre la salud de la población que cotidianamente está expuesta a los gases generados por la combustión de los automóviles. Un descenso en las emisiones esperadas de los vehículos que se sumarán al parque automotor tendrá consecuencias positivas directas sobre la salud de la población en su conjunto, ya que prácticamente la totalidad de la población se encuentra expuesta al tráfico vehicular, y consecuentemente sobre la economía boliviana.

Siguiendo la metodología de CEPAL, la sociedad asigna valores a los efectos en la salud, que se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- *Costos de tratamiento, que son los costos directos del tratamiento médico (por ejemplo, el de un ingreso y permanencia en una sala de urgencia).*
- *Productividad perdida, que es el valor del trabajo dejado de realizar por la persona afectada (por ejemplo, la pérdida de trabajo debido a una hospitalización, si la persona afectada trabaja, o de la persona que cuida o acompaña a una persona enferma u hospitalizada).*
- *Pérdida de utilidad o de bienestar al sufrir un efecto, por ejemplo, el desagrado de sufrir un ataque de asma.*<sup>3</sup>

Por el lado de los contaminantes globales, en cambio, se aplicó un valor monetario a partir de los bonos de carbono.

---

<sup>2</sup> "Congestión de tránsito" – Cuadernos de la CEPAL n°87 (CEPAL, 2003), "COPERT III Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport" - Technical Report n°49 (EPA, 2000), "Costos en salud por contaminación del aire – Costa Rica" (Ministerio de Salud de Costa Rica, 2005).

<sup>3</sup> CEPAL, 2003.



### 2.1.2. Importación de vehículos y procesamiento necesarios

El primer paso para la estimación de las consecuencias de esta política fue estimar la importación de vehículos para el horizonte de proyecto. Las proyecciones fueron realizadas a partir de la información de comercio internacional que se encuentra disponible en el Centro de Comercio Internacional (ITC, por sus siglas en inglés). Dada la regulación, era de nuestro interés solicitar la información sólo de productos contenidos dentro de la categoría 87 – vehículos, no férreos. Dentro de esta categoría se trabajó con los productos:

- 8702: Vehículos de personas para máximo de 10 Incl. conductor
- 8703: Vehículos para más de 10 personas.
- 8704: Vehículos para transportar mercancías
- 8711: Motocicletas

Los códigos 8702-8703-8711, son agrupados en una misma categoría y se consideran para el transporte de pasajeros.

A través del sitio –ITC<sup>4</sup>– fue posible descargar la serie histórica entre el 2001 y 2015, en valores monetarios (U\$D) y unidades. Respondiendo a la solicitud de información la aduana ha enviado información sobre las unidades importadas para los años 2012, 2013 y 2014. Se verificó y comprobó que las series suministradas eran consistentes con aquellas enviadas por la Aduana Boliviana. A continuación se muestran las importaciones de los productos seleccionados en valores y unidades.

**Tabla 1 – Importaciones de productos seleccionados. En MM USD**

Años	Importación (Millones U\$D)			
	Vehículos de personas para máximo de 10 Incl. conductor	Vehículos de personas	Vehículos de mercancías	Motocicletas
	'8702	'8703	'8704	'8711
2005	\$13.11	\$104.56	\$51.32	\$8.98
2006	\$15.64	\$158.16	\$76.20	\$13.12
2007	\$34.48	\$226.80	\$146.86	\$18.22
2008	\$45.52	\$338.99	\$180.64	\$24.40
2009	\$39.21	\$187.79	\$142.37	\$23.67
2010	\$42.28	\$209.66	\$155.29	\$32.50
2011	\$48.25	\$490.43	\$263.88	\$44.92
2012	\$73.62	\$344.26	\$256.12	\$52.77
2013	\$98.46	\$456.12	\$319.95	\$61.30
2014	\$80.89	\$494.13	\$319.54	\$62.35
2015	\$99.32	\$547.84	\$316.01	\$62.42

Fuente: Elaboración propia en base a datos de ITC

<sup>4</sup><http://www.trademap.org/tradestat>; Consultado el 16-Nov-2016

**Tabla 2 – Importaciones de productos seleccionados. En unidades**

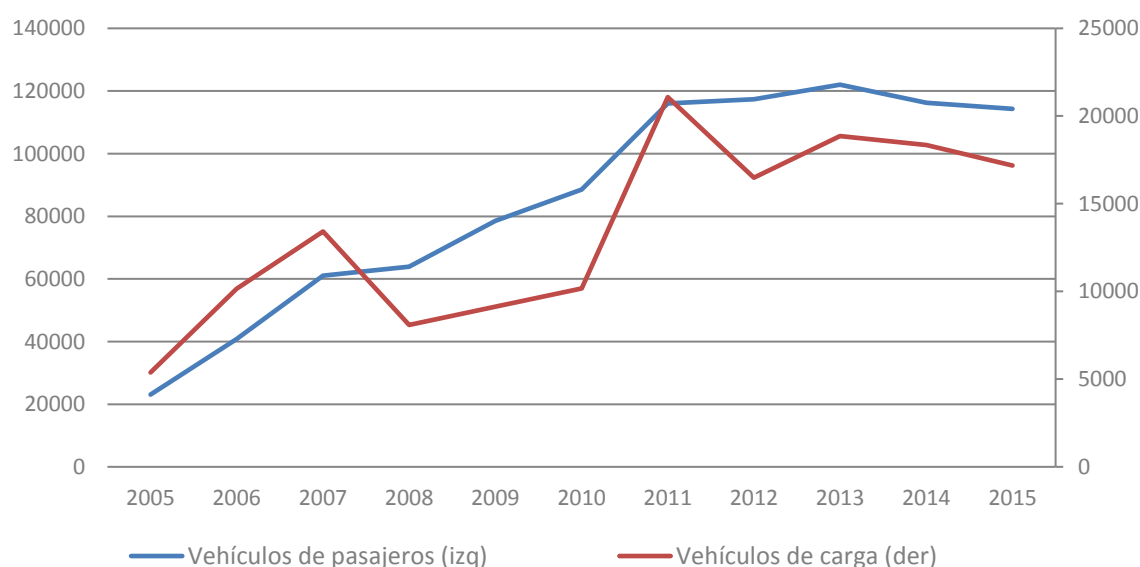
Años	Cantidades importadas (unidades)			
	Vehículos de personas para 10 o más personas. Incl. conductor	Vehículos de personas	Vehículos de mercancías	Ciclomotores
	'8702	'8703	'8704	'8711
2005	2177	31594	5382	15516
2006	3675	56598	10149	26959
2007	6983	76807	13422	40686
2008	4170	22533	8084	51670
2009	1356	11968	9126	68076
2010	4759	17900	10167	73637
2011	5089	76346	21080	89904
2012	5506	27828	16491	95349
2013	6724	37519	18862	96426
2014	4775	41091	18341	93104
2015	6343	40127	17171	90802

Fuente: Elaboración propia en base a datos de ITC

En términos de unidades importadas, se observa que los vehículos de carga representan en promedio entre 9 y 12%. Esta distribución en las importaciones se mantiene a lo largo de todo el periodo estudiado.

Se puede ver también que las series presentan cierta volatilidad, especialmente en el 2007 y 2011 se producen saltos en las mismas. En el siguiente gráfico se muestran las series para los dos tipos de vehículos en cantidades.

**Gráfico 1 – Serie de cantidades de vehículos de pasajeros y cargas**

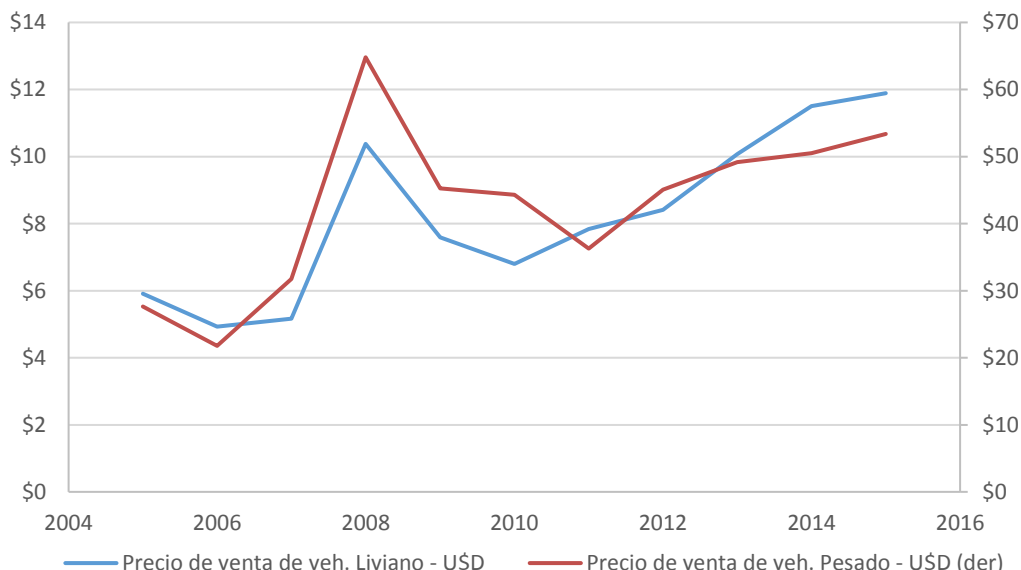


Fuente: Elaboración propia en base a datos de ITC

A su vez, al tener los valores y las unidades que fueron importadas en cada período, es posible estimar el costo de los vehículos al llegar a Bolivia. En diez años, entre 2005 y 2015, la tasa de crecimiento de los precios de los vehículos livianos fue de 7.2% y para pesados 6.8%. En base a precios internacionales se asume que en el 2014 el precio de vehículos livianos se aproximaba

a U\$D 11,500 y para los pesados de U\$D 50,500. Los costos de los vehículos fueron aproximados a partir de las serie de comercio internacional (anteriormente mencionada) y posteriormente verificado por sitios de web de concesionarios. Los precios que enfrentan los consumidores comparado a los precios FOB representan un aumento del 2.5% para los vehículos de pasajeros y de 2.8% para los pesados. A continuación se pueden ver ambas series en el tiempo.

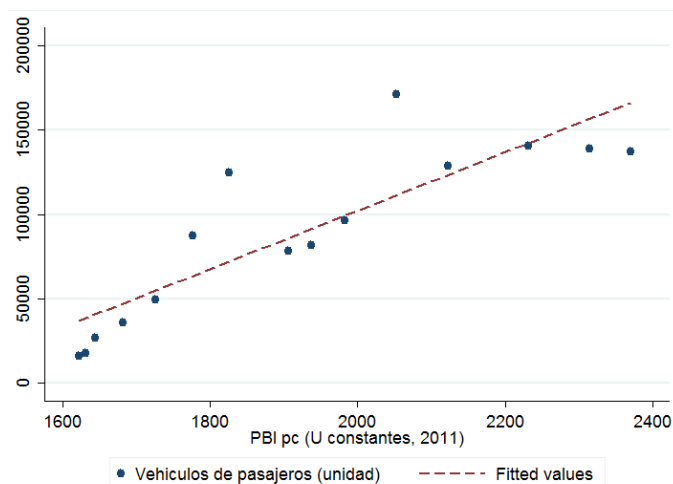
Gráfico 2 – Serie de precio de vehículos livianos y de carga (en miles de U\$S)



Fuente: Elaboración propia en base a datos de ITC

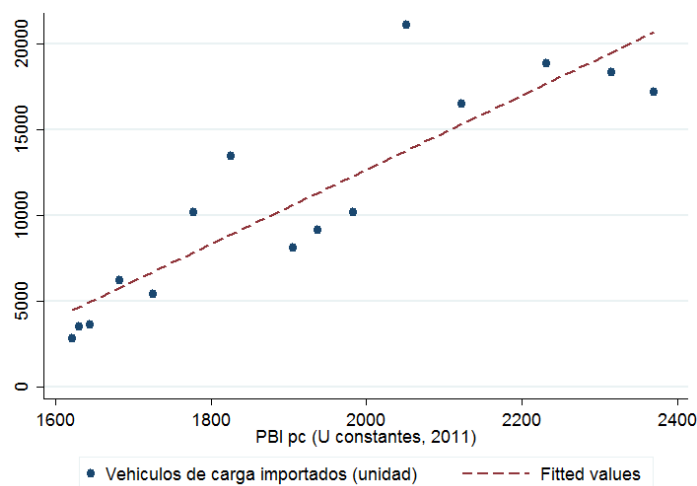
Finalmente, dado que la evaluación económica tiene un horizonte temporal de 20 años desde la implementación de las políticas, fue necesario proyectar estas series. Así, se procede a explorar la relación que las mismas tienen con el PBI per cápita de Bolivia. Se encontró que tanto la serie de vehículos de pasajeros como los de carga tienen una correlación con el PBI. En consecuencia, mediante mínimos cuadrados ordinarios se estima la recta que mejor se ajusta a la relación. Luego de explorar diferentes alternativas para estimar la proyección de las series, se encontró que por cada U\$D per cápita adicional, las importaciones, además de la constante, aumentan en 138.86 unidades ( $\text{Vehículos importados} = 15498.1 + 138.86 \cdot \text{PBIpc}$ ). Luego, usando la proporción que representan los vehículos de pasajeros y pesados (89% y 11%, respectivamente), se obtienen las series de cada tipo de vehículo. En los siguientes gráficos se puede ver la relación que existe entre las variables estudiadas.

Gráfico 3 - Relación entre la importación de vehículos para transporte de pasajeros y PBI per cápita



Fuente: Elaboración propia en base a datos de UNdata y ITC.

Gráfico 4 - Relación entre la importación de vehículos para transporte de mercancías y PBI per cápita



Fuente: Elaboración propia en base a datos de UNdata y ITC.

Una vez obtenida la relación que existe entre el PBI per cápita y las importaciones de vehículos, se utilizan series del INE de población estimada<sup>5</sup> para determinar el PBI en los próximos años. El conocimiento sobre la población y PBI ayudó a expandir la serie de importaciones hasta el final de la evaluación.

### 2.1.3. Beneficios (reducción de la contaminación por importación de vehículos)

Como se detalló anteriormente, el cambio en la normativa permitirá transformar la flota actual en una más actual y por lo tanto menos contaminante. En este caso, la ley ha pospuesto la medida que sólo permite el ingreso de vehículos que cumplan con la norma EURO IV o superior, ya que al momento el país no cuenta con un suministro adecuado de combustible. La Ley 821 del 16 de agosto de 2016 modifica la Ley 165 en lo que respecta al cumplimiento de

<sup>5</sup> El Instituto Nacional de Estadística posee proyecciones de población hasta el año 2100. Por lo tanto, fue posible construir las series de PBI en el futuro.

normas EURO en este sentido. Allí se indica que se llegará a la aplicación del estándar EURO IV "una vez que los combustibles producidos e importados por el Estado Plurinacional de Bolivia cumplan con la calidad exigida por estas normas", para lo cual establece un plazo máximo de 5 años. Hasta ese, sólo se permitirá importar vehículos EURO II, prolongando el plazo que estipulaba la Ley 165, originalmente hasta 2017.

Por el lado de la situación SP, se supuso que aún sin la implementación de la ley, la importación de vehículos evolucionará naturalmente hacia tecnologías más modernas y menos contaminantes. Tal avance, sin embargo, será gradual y sin llegar a ser, dentro del horizonte de análisis, de las características propias del escenario CP. Esto además porque sin la sanción de la mentada Ley no estarían dados los incentivos suficientes para lograr una adecuación de los combustibles en el mismo tiempo, lo cual perjudica la performance ambiental de los vehículos importados.

Para lograr plasmar esta situación en las estimaciones, se supusieron 4 categorías de vehículos con distinto grado de emisión de gases contaminantes y una evolución de cada categoría conforme transcurre el tiempo. Esta estructura se armó a partir del parque actual, cuyas unidades presentan niveles de emisión muy distintos unas de otras. Es de esperar que, de no mediar una ley que lo regule, el parque siga evolucionando pero manteniendo cierta heterogeneidad en cuanto a las emisiones. Los supuestos de las emisiones para cada tipo de vehículo son las siguientes:

**Tabla 3 – Nivel de emisiones según tipo de vehículo. Promedio entre tipos de vehículos**

g/km	EURO I	EURO II	EURO III	EURO IV
CO2	300	209	186.1	154.7
Nox	2.5	1.8	1.6	0.87
Sox	0.3	0.28	0.26	0.16
PM	0.3	0.27	0.13	0.06

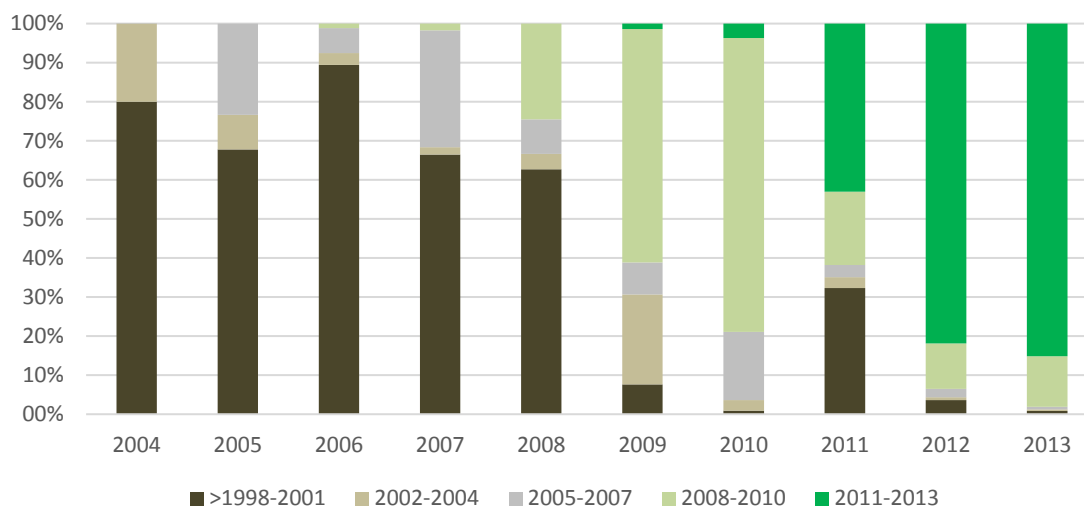
Fuente: Elaboración propia en base a United Nations Environment Programme. Tool<sup>6</sup>

Para poder entender la dinámica de importación, se analizó la información disponible a la fecha sobre las importaciones de los rubros relevantes. La serie de importaciones analizada corresponde al período entre 2004 y 2013, con información sobre el tipo de vehículo, el año de fabricación y el origen de las importaciones. Ver las Tablas 4 y 5 para mayor detalle sobre el año de fabricación según el momento importado.

A partir del análisis de la información estadística de la aduana, fue posible entender cómo la importación de vehículos antiguos ha ido cayendo en el tiempo, ya que permitió ver cómo se distribuyen las importaciones de acuerdo al año de fabricación. En función de ello se elabora el siguiente gráfico, en donde se puede ver que en el año 2013 cerca del 85% de las importaciones correspondían a vehículos fabricados entre los años 2011 y 2013.

<sup>6</sup> <http://www.unep.org/tnt-unep/toolkit/impacts/tool18/index.html#>

Gráfico 5 - Evolución de la importación de vehículos, por año de fabricación



Fuente: Elaboración propia en base datos de Aduana

Por último, este ejercicio fue repetido teniendo en cuenta el tipo de vehículo, a fin de evaluar si existían diferencias entre una dinámica de importación y otra. En las tablas 4 y 5 se puede ver que las importaciones de vehículos pesados muestran cierto rezago con respecto a los vehículos de pasajeros.

Teniendo en cuenta el comportamiento de las importaciones, el marco regulatorio y la limitación tecnológica para la producción de combustibles se determinó que en la situación sin proyecto, la importación de la flota a partir del 2016 debería ser mayoritariamente EURO II y para el 2037 el peso de los vehículos con estándares EURO IV debería ser de más del 80%. Para el caso con proyecto, las importaciones deberán ser EURO IV a partir del año 2022 según lo especificado en la Ley 821 del 16 de agosto de 2016 que modifica la Ley 165 en lo que respecta al cumplimiento de normas EURO en la importación de vehículos. En esta se indica que se llegará a la aplicación del estándar EURO IV "una vez que los combustibles producidos e importados por el Estado Plurinacional de Bolivia cumplan con la calidad exigida por estas normas", para lo cual establece un plazo máximo de 5 años. Hasta ese entonces se permitirá importar vehículos EURO II.

Tabla 4 - Evolución de la importación de vehículos de pasajeros, según año de fabricación

Año	Año de fabricación																	Total
	<1998	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
2004	68%	2%	2%	4%	3%	2%	8%	11%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
2005	55%	3%	2%	2%	4%	1%	1%	9%	24%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
2006	74%	9%	4%	2%	2%	1%	1%	1%	3%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
2007	46%	11%	4%	2%	1%	1%	0%	0%	1%	6%	28%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
2008	39%	7%	7%	4%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	8%	27%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
2009	3%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	21%	3%	2%	1%	22%	42%	0%	0%	0%	0%	100%
2010	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	3%	8%	5%	2%	15%	64%	0%	0%	0%	100%
2011	17%	4%	5%	3%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	4%	1%	13%	46%	0%	0%	100%
2012	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	2%	5%	1%	23%	63%	0%	100%
2013	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	7%	2%	27%	60%	100%

Tabla 5 - Evolución de la importación de vehículos de cargas, según año de fabricación

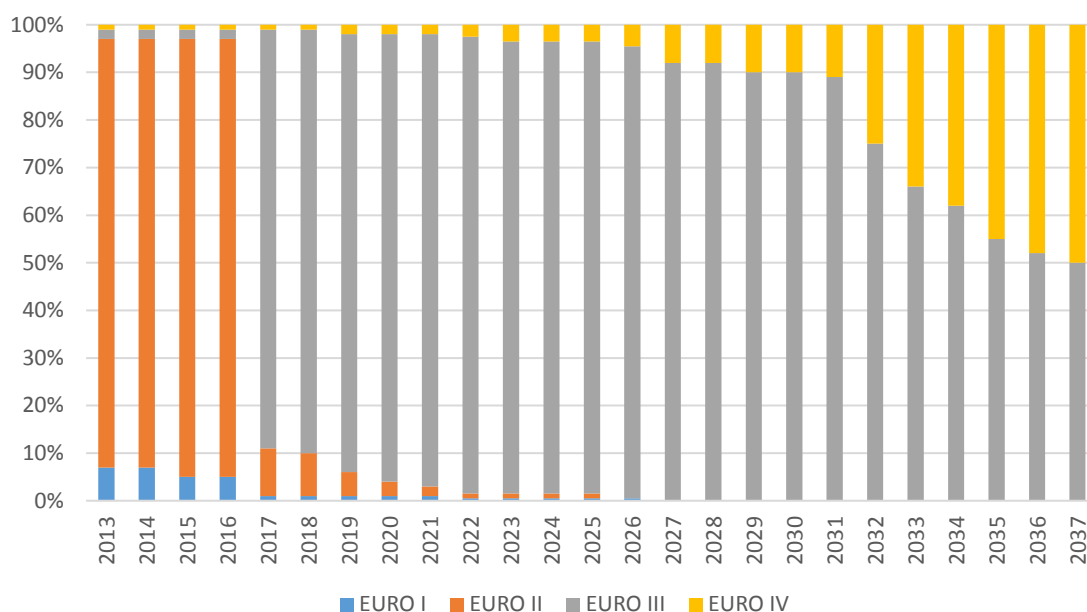
Año	Año de fabricación																	Total
	<1998	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
2004	72%	3%	2%	2%	3%	2%	8%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
2005	38%	0%	38%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	8%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
2006	41%	0%	41%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	4%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
2007	38%	0%	38%	4%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	3%	8%	0%	0%	0%	0%	100%
2008	37%	0%	37%	4%	3%	3%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	4%	5%	0%	0%	0%	100%
2009	10%	0%	10%	1%	1%	1%	2%	10%	11%	11%	8%	4%	3%	15%	13%	0%	0%	100%
2010	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	25%	16%	9%	6%	3%	13%	26%	0%	100%
2011	22%	0%	22%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	11%	5%	3%	1%	10%	16%	100%
2012	5%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	37%	12%	4%	2%	29%	100%
2013	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	12%	58%	16%	9%	4%	100%

Fuente: Elaboración propia en base datos de Aduana



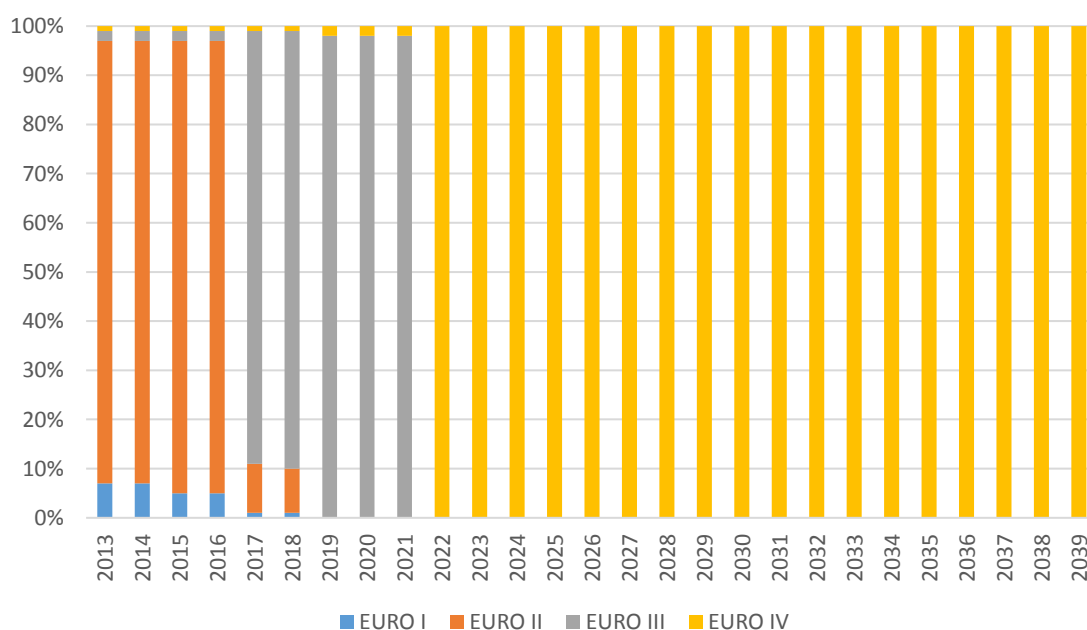
A modo ilustrativo, a continuación se muestra la composición de la flota de vehículos proyectada en la situación sin cambios, para los vehículos de pasajeros y de carga. Para el cambio en la distribución de las importaciones se consideró que en la situación sin proyecto la incorporación de nuevas tecnologías tardará más. En particular, el aumento de EURO IV sería gradual y natural, incrementándose las importaciones de estas tecnologías de manera incremental a partir del 2031. Esta situación sería análoga para los vehículos de carga, pero con la salvedad que se encontraría mayor resistencia al cambio. Esta tendencia se observa de manera empírica a partir de la información suministrada por aduana.

Gráfico 6 – Composición de la flota vehicular liviana proyectada. Sin proyecto



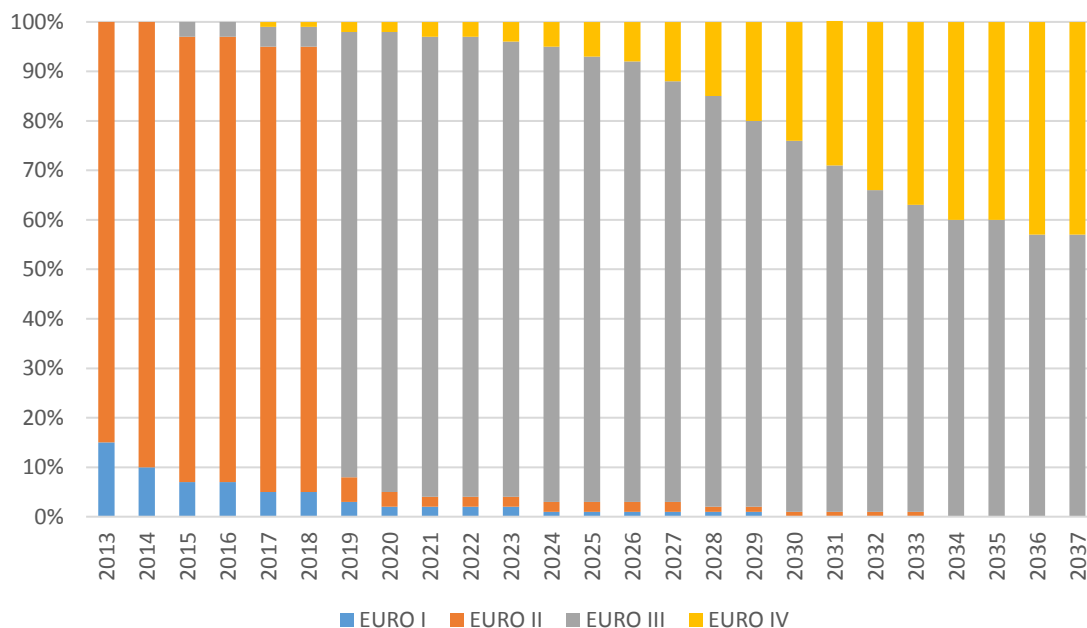
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 7 – Composición de la flota vehicular liviana proyectada. Con proyecto



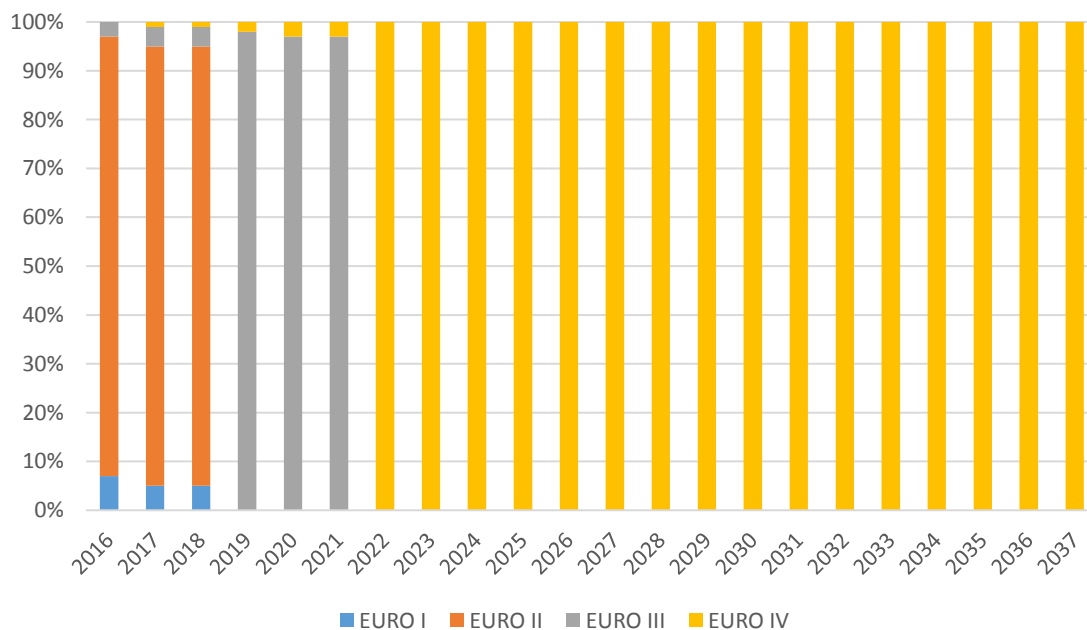
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8 – Composición de la flota vehicular pesada proyectada. Sin proyecto



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 9 – Composición de la flota vehicular pesada proyectada. Con proyecto

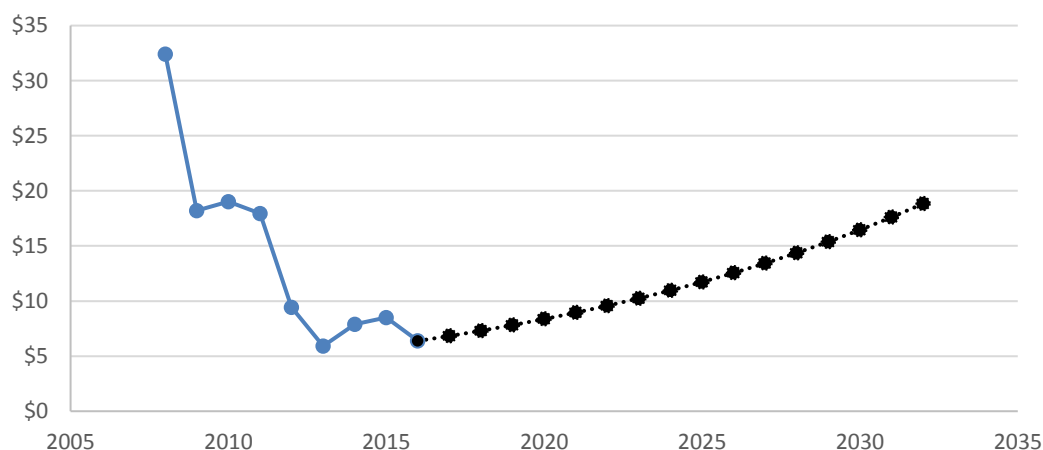


Fuente: Elaboración propia

Las emisiones de CO2 fueron monetizadas usando el valor de los bonos de carbono, entendiendo que de aquí al 2034, su valor estará en alza llegando a los U\$D 25.5/t. Este

supuesto se basa en los escenarios más cautos<sup>78</sup>. A continuación se presenta la evolución del precio de los bonos de carbono.

Gráfico 10 – Evolución del precio del CO2 (U\$S/ton)



Fuente: Elaboración propia en base a Reuters 2013.

Los costos monetarios asociados a los contaminantes locales fueron adaptados a partir de información para Chile<sup>9</sup> (CEPAL, 2003) y adaptados a la economía boliviana mediante el PBI per cápita. En este caso se asume que la pérdida de bienestar tiene una relación con la productividad y que ésta es constante entre economías. Por lo tanto, el ratio entre el costo de los contaminantes sobre el PBI de Chile debe ser equivalente en el caso boliviano. Conociendo el valor del PBI de Bolivia, es posible despejar el costo de los contaminantes. En la siguiente tabla se muestran los valores que fueron tenidos en cuenta para la estimación de costes.

Tabla 6 – Valor de los efectos en la salud por variación de la emisión de una tonelada de contaminante. Miles de U\$D/ton abatida. Chile y Bolivia

CHILE				
PBI pc - año 2001	10037.8			
Contaminante	Costo tratamiento	Perdida productividad	Perdida Bienestar	Total
Polvo suspendido	0.013	0.14	0.54	0.693
MP	1.063	11.64	43.2	55.903
Nox	0.055	0.6	2.2	2.855
Sox	0.279	3.05	11.3	14.629

BOLIVIA				
PBI pc - año 2001	1613.4			
Contaminante	Costo tratamiento	Perdida productividad	Perdida Bienestar	Total
Polvo suspendido	0.00	0.02	0.09	0.14
MP	0.17	1.87	6.94	11.14
Nox	0.01	0.10	0.35	0.57
Sox	0.04	0.49	1.82	2.92

Fuente: Elaboración propia en base a datos de CEPAL.

<sup>7</sup> Thomson Reuters 2013. The MSR: Impact on market balance and prices

<sup>8</sup> Synapse. Energy Economics. 2016. Spring 2016 National Carbon Dioxide Price Forecast

<sup>9</sup> Congestión de Tránsito. El problema y cómo enfrentarlo. CEPAL, GTZ. Alberto Bull, compilador. 2003

Finalmente, para obtener el costo de las emisiones se asume que, en promedio, un vehículo liviano recorre 20.000Km/año<sup>10</sup> y un vehículo pesado 55.000Km/año. Tomando estos datos y combinándolos con la serie de importaciones y la distribución de vehículos por tipología, se calcula el costo que producen los principales contaminantes bajo la situación sin cambios en la normativa de importación. En las siguientes tablas se muestran las series que corresponden a las emisiones sin proyecto.

**Tabla 7 – Emisiones producidas por vehículos de pasajeros. Sin Proyecto**

Emisiones MM Toneladas	Período / Año																			
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
CO2	4923	5027	5145	5227	5345	5471	5544	5679	5725	5837	5922	6078	6119	6042	6021	6061	6056	6101	6156	6180
NOX	5132.1	5268.1	5406.4	5511.9	5622.2	5754.6	5883.7	5974.3	5979.7	6096.4	6151.6	6261.9	6339.2	6010.4	5822.5	5783.4	5641.2	5622.0	5631.3	5569.7
SOX	829.8	852.6	875.4	895.0	913.6	935.1	956.1	972.0	977.5	996.6	1007.1	1025.2	1038.7	996.4	973.4	970.7	953.9	953.8	957.6	951.5
PM	439.2	442.7	450.2	452.9	461.6	472.5	483.1	485.4	482.5	491.9	495.5	504.4	510.2	477.0	457.4	452.1	437.0	433.7	433.2	425.9

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8 – Emisiones producidas por vehículos de carga. Sin Proyecto**

Emisiones Nox MM Toneladas	Período / Año																			
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
CO2	3865	3964	4063	4169	4264	4350	4432	4518	4578	4638	4682	4723	4925	4794	4842	4884	4955	4996	5064	5110
NOX	16558	16883	17221.3	17669.8	18009.9	18236.0	18442.8	18734.1	18694.6	18696.6	18498.7	18272.9	18417.0	17740.7	17670.1	17537.7	17794.1	17677.1	17915.9	17897.5
SOX	823.1	843.5	865.0	887.5	908.2	925.7	943.9	962.8	977.2	991.6	1003.3	1012.6	1059.8	1032.6	1044.5	1055.2	1070.7	1081.1	1095.7	1106.8
PM	1040.7	1044.1	1060.9	1088.5	1110.1	1115.9	1129.8	1148.3	1148.6	1145.2	1136.5	1115.6	1129.7	1090.1	1088.0	1076.0	1091.8	1086.9	1101.6	1102.1

Fuente: Elaboración propia

<sup>10</sup> De acuerdo a la Federal Highway Administration en promedio un vehículo de pasajeros se utiliza 13,476 millas. Por otra parte, desde la contabilidad, para estimar el costo de los activos, se supone que los vehículos recorren en promedio 20mil km por año. El cálculo de la depreciación de camiones asume un recorrido anual de los vehículos de carga de 50mil km.

La situación con proyecto se construye de forma similar. Sin embargo, se asume que en este escenario todos los vehículos que se importen deben cumplir con la nueva normativa. Tomando el mismo kilometraje promedio que fue usado en la situación tendencial, se estiman las siguientes emisiones con proyecto.

**Tabla 9 – Emisiones producidas por vehículos de pasajeros. Con proyecto**

Emisiones Nox MM Toneladas	Período / Año																			
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
CO2	4779	4918	5053	4165	4267	4368	4466	4562	4655	4745	4834	4921	5006	5088	5169	5247	5324	5399	5472	5543
NOX	5071.3	5218.7	5362.4	3019.3	3093.9	3166.8	3237.8	3307.1	3374.6	3440.5	3504.9	3567.7	3629.1	3688.9	3747.3	3804.3	3859.9	3914.1	3967.0	4018.6
SOX	825.3	849.3	872.6	555.3	569.0	582.4	595.5	608.2	620.6	632.7	644.6	656.1	667.4	678.4	689.2	699.6	709.9	719.8	729.6	739.0
PM	411.4	423.3	435.0	208.2	213.4	218.4	223.3	228.1	232.7	237.3	241.7	246.0	250.3	254.4	258.4	262.4	266.2	269.9	273.6	277.1

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10 – Emisiones producidas por vehículos de carga. Con Proyecto**

Emisiones Nox MM Toneladas	Período / Año																			
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
CO2	3831	3935	4043	3435	3520	3602	3681	3762	3839	3914	3987	4058	4128	4196	4263	4328	4391	4443	4513	4571
NOX	16134.4	16513.8	16968.4	8256.9	8461.0	8660.3	8854.6	9044.1	9228.7	9408.8	9584.8	9756.7	9924.5	10088.1	10247.8	10403.7	10555.8	10704.1	10848.7	10989.7
SOX	813.2	835.8	858.8	766.7	785.7	804.2	822.2	839.8	856.9	873.7	890.0	906.0	921.6	936.8	951.6	966.1	980.2	994.0	1007.4	1020.5
PM	968.9	992.2	1019.5	542.6	556.0	569.1	581.9	594.3	606.5	618.3	629.9	641.2	652.2	662.9	673.4	683.7	693.7	703.4	712.9	722.2

Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que los precios de todos los contaminantes y el valor de los bonos de carbono fueron multiplicados por el Precio Cuenta de Eficiencia de la Divisa (RPCD) de 1.24. Así la reducción del costo de los contaminantes se encuentra cuantificada a precios sombra y por lo tanto reflejan el costo para la sociedad.

A los efectos de obtener el ahorro en emisiones de gases contaminantes se deben restar ambas situaciones. Finalmente, los ahorros en emisiones son monetizados y se obtienen los ahorros a valores constantes. En la última tabla del apartado se resume el resultado producido por la disminución de emisiones. Se estima que los beneficios a valor presente superan U\$D 112 Millones. Las diferencias que se detectan en el 2019, corresponden al supuesto que en la situación SP, la aduana continúa siendo de alguna forma

Tabla 11 – Ahorros por reducción en contaminantes

Emisiones	Período / Año																			
MM U\$D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
CO2	0.11	0.09	0.08	2.17	2.35	2.56	2.77	2.99	3.10	3.33	3.50	3.72	4.28	3.73	3.68	3.76	3.71	3.65	3.69	3.59
NOX	0.28	0.24	0.17	6.77	6.87	6.92	6.96	7.03	6.87	6.80	6.58	6.38	6.37	5.68	5.40	5.19	5.13	4.94	4.97	4.81
SOX	0.04	0.03	0.03	1.34	1.36	1.38	1.41	1.42	1.39	1.40	1.39	1.39	1.49	1.21	1.10	1.05	0.98	0.94	0.92	0.87
PM	1.11	0.79	0.63	8.81	8.94	8.92	9.00	9.04	8.82	8.71	8.47	8.16	8.22	7.24	6.84	6.49	6.34	6.10	6.11	5.89
<b>Total</b>	<b>1.53</b>	<b>1.16</b>	<b>0.91</b>	<b>19.09</b>	<b>19.53</b>	<b>19.78</b>	<b>20.14</b>	<b>20.48</b>	<b>20.18</b>	<b>20.24</b>	<b>19.93</b>	<b>19.65</b>	<b>20.36</b>	<b>17.85</b>	<b>17.02</b>	<b>16.49</b>	<b>16.16</b>	<b>15.62</b>	<b>15.69</b>	<b>15.16</b>
TSD	1.00	1.12	1.25	1.40	1.57	1.76	1.97	2.21	2.48	2.77	3.11	3.48	3.90	4.36	4.89	5.47	6.13	6.87	7.69	8.61
Valor presente	1.5	1.0	0.7	13.6	12.4	11.2	10.2	9.3	8.2	7.3	6.4	5.6	5.2	4.1	3.5	3.0	2.6	2.3	2.0	1.8
<b>VAN</b>	<b>112.0</b>																			

Fuente: Elaboración propia

### 2.1.1. Costos

#### 2.1.1.1. Incremento de costos por restricción a la importación de vehículos

Si bien la política descrita anteriormente tiene como objetivo renovar la flota de vehículos en el país, al mismo tiempo que se generen beneficios como resultado de la menor cantidad de emisiones, la economía en su conjunto deberá afrontar un costo por vehículo superior. Utilizando los costos por vehículo unitario y teniendo en cuenta el crecimiento de precios en los últimos años (aproximadamente 7%<sup>11</sup>), se arribó al costo que tendrá para la economía boliviana la implementación de la normativa propuesta en concepto de importación de vehículos más caros.

A la fecha la política en su concepción original no ha podido ser implementada y su aplicación ha sido postergada hasta el año 2022. Como se ha mencionado, la principal razón por la cual se decidió posponer la incorporación del estándar mínimo EURO IV es la baja calidad de los combustibles. Hasta que esta situación se revierta, el mínimo ha pasado a ser EURO II. En esta evaluación no se tienen en cuenta los costos que implica aumentar la disponibilidad y calidad de combustibles superiores. Se entiende que las mejoras tecnológicas necesarias para mejorar las refinerías escapa el alcance de esta evaluación y por la complejidad del asunto, se recomienda realizar un estudio propio.

El cambio regulatorio, de la forma en que es entendido en esta primera aproximación del estudio, implicaría un incremento en los costos al adquirir material rodante. Esto se produce como resultado de que las tecnologías más eficientes y limpias son más caras. Entonces, partiendo de la relación inicial que existe entre unidades y precios, se estima el siguiente esquema tarifario. En el escenario sin proyecto, la flota se irá adecuando según como se modeló anteriormente y, para el caso con proyecto, a partir de la implementación de la política todos los vehículos importados deberán ser EURO II a partir del 2017 y desde el año 2022 en adelante EURO IV. Se asume que un vehículo de pasajeros EURO II en promedio está valuado a precios de mercado U\$D 11,500 y uno de carga EURO II a U\$D 50,500 en el año 2019. Este valor resulta de estudiar la relación entre las unidades importadas y los valores importados a precios FOB. Luego, suponiendo que desde el momento de entrada los costos de los vehículos se incrementan 250%, se obtienen valores del orden de magnitud al anterior. Luego, estos valores fueron cotejados revisando listados de precios de los automóviles; se llegó a la conclusión que estos precios resultan adecuados. De todas formas, el análisis de sensibilidad, realizado más adelante demostrará que sucede cuando se suponen precios inferiores o mayores. Utilizando los últimos precios sombra especificados por el Viceministro de Inversión Pública y Financiamiento Externo (VIPFE) de 1.24, a continuación se determina el costo de los vehículos. Dado que en la actualidad la mayor parte de la flota importada es EURO II, un Vehículo EURO I está valuado en 97% el precio del EURO II a precio sombra. Así, la diferencia de precio entre estas tecnologías se asume que es de 3%. Por ejemplo, un camión

---

<sup>11</sup> A partir de los datos de comercio internacional, mostrados en las secciones anteriores, es posible obtener la evolución de los precios de los Vehículos de carga y pasajeros. El cálculo muestra una tasa de crecimiento anual de 7%.



IVECO EURO I está valuado en U\$D 15,3 mil y uno EURO II U\$D 15,7. Utilizando estos valores de referencia se establecen los siguientes precios sombra para el año 2016.

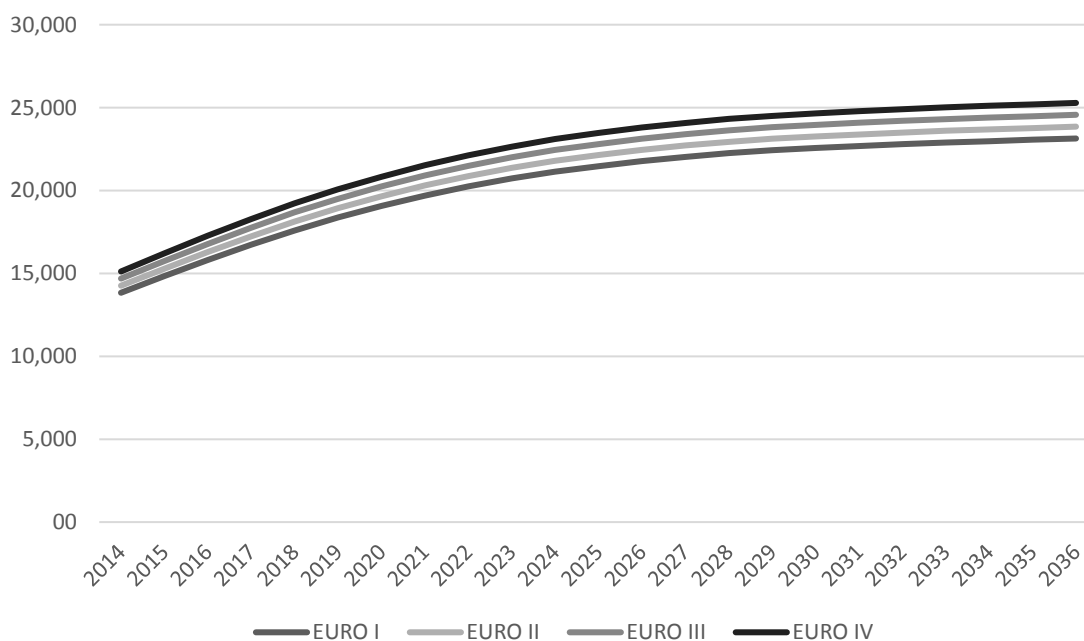
Tabla 12 – Precio sombra de vehículos. Año 2016

Precio sombra	Pax	Carga	Diferencia
EURO I	\$ 13,832	\$ 60,741	97%
EURO II	\$ 14,260	\$ 62,620	100%
EURO III	\$ 14,688	\$ 64,499	103%
EURO IV	\$ 15,116	\$ 66,377	106%

Fuente: Elaboración propia.

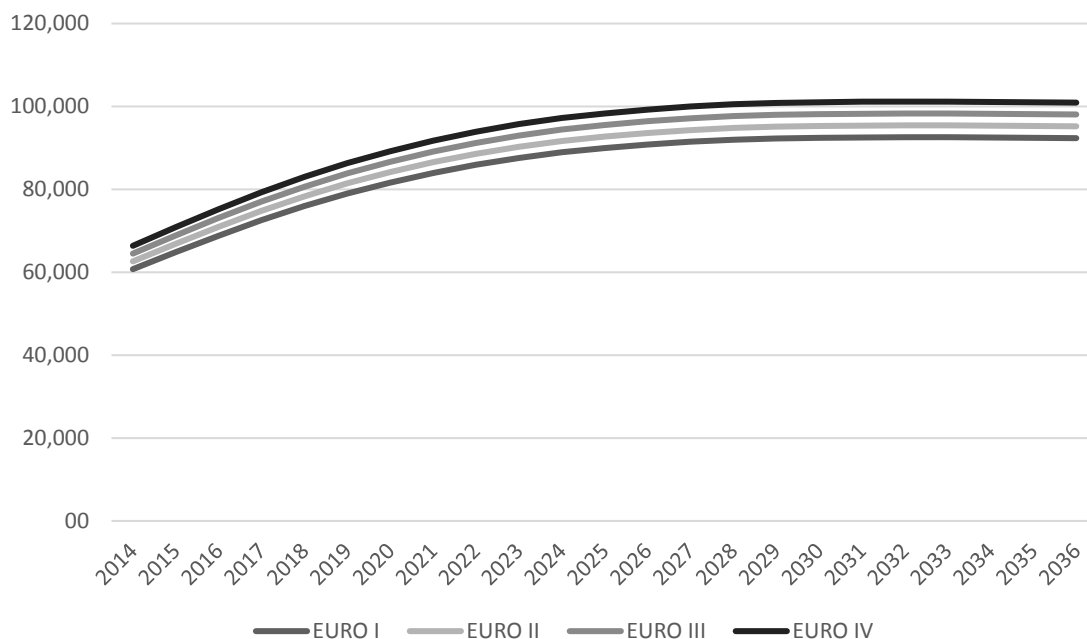
Finalmente, partiendo de la evolución de las unidades importadas y el total importado en valor, se verifica que entre el año 2005 y 2015, el precio de los vehículos de pasajeros aumentó 7.2% y el de los de carga 6.8%. Tomando en cuenta esta tendencia se modela el precio futuro de los rodados. Se utiliza una tasa decreciente de la evolución del precio. En los siguientes gráficos se puede ver la evolución de los precios de los vehículos.

Gráfico 11 –Evolución de precio sombra de vehículos de pasajeros



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12 –Evolución de precio sombra de vehículos de carga



Fuente: Elaboración propia.

Usando la estructura de la flota y la evolución de precios en las tablas, a continuación se estiman los costos por tipos de vehículos. En la situación sin proyecto, la reconversión de la flota es gradual, mientras que de hacerse efectiva la norma, sólo será posible en un primer momento importar material rodante EURO II y a partir del 2022 EURO IV, de mayor costo.

Finalmente, se calculan las diferencias, y usando la misma tasa de descuento que se utiliza para la totalidad de la evaluación (12%) se determina el valor actual. A continuación se presentan las diferentes proyecciones. En total se estima un incremento en los costos de U\$D 960 millones.

Tabla 13 – Evolución en precio sombra de vehículos livianos

Vehículo liviano miles U\$D	Período / Año																			
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
EURI I	18.4	19.1	19.7	20.2	20.7	21.1	21.5	21.8	22.0	22.2	22.4	22.6	22.7	22.8	22.9	23.0	23.1	23.1	23.2	23.3
EURIO II	18.9	19.7	20.3	20.9	21.4	21.8	22.1	22.4	22.7	22.9	23.1	23.3	23.4	23.5	23.6	23.7	23.8	23.9	23.9	24.0
EURO III	19.5	20.2	20.9	21.5	22.0	22.4	22.8	23.1	23.4	23.6	23.8	24.0	24.1	24.2	24.3	24.4	24.5	24.6	24.7	24.8
EURO IV	20.1	20.8	21.5	22.1	22.6	23.1	23.5	23.8	24.1	24.3	24.5	24.6	24.8	24.9	25.0	25.1	25.2	25.3	25.4	25.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 – Evolución en precio sombra de vehículos pesados

Vehículo pesado miles U\$D	Período / Año																			
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
EURI I	60.7	64.9	68.8	72.5	75.9	79.0	81.6	83.9	85.9	87.6	88.9	90.0	90.8	91.5	92.0	92.3	92.4	92.5	92.6	92.6
EURIO II	62.6	66.9	71.0	74.8	78.3	81.4	84.1	86.5	88.6	90.3	91.7	92.7	93.6	94.3	94.8	95.2	95.3	95.4	95.4	95.4
EURO III	64.5	68.9	73.1	77.0	80.6	83.9	86.7	89.1	91.2	93.0	94.4	95.5	96.4	97.1	97.7	98.0	98.2	98.3	98.3	98.3
EURO IV	66.4	70.9	75.2	79.3	83.0	86.3	89.2	91.7	93.9	95.7	97.2	98.3	99.2	100.0	100.5	100.9	101.0	101.1	101.2	101.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 – Incremento de costos por cambio en normativa

Incremento en precio de vehículo MMU\$D	Período / Año																			
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
M Veh Pax	0.0	4.9	4.1	108.1	112.3	117.2	121.7	123.5	121.6	125.2	125.7	128.7	130.2	112.1	100.6	96.3	87.0	83.7	81.9	76.6
M Veh Carga	0.0	4.1	3.3	58.7	60.7	61.3	62.1	63.3	62.4	61.2	59.0	55.8	-51.1	50.3	48.8	46.4	47.0	45.3	45.8	44.8
<b>Total</b>	<b>0.0</b>	<b>9.0</b>	<b>7.4</b>	<b>166.8</b>	<b>173.0</b>	<b>178.4</b>	<b>183.8</b>	<b>186.8</b>	<b>184.0</b>	<b>186.4</b>	<b>184.7</b>	<b>184.5</b>	<b>79.0</b>	<b>162.3</b>	<b>149.4</b>	<b>142.7</b>	<b>134.0</b>	<b>129.0</b>	<b>127.7</b>	<b>121.4</b>
Valor presente	0.0	8.0	5.9	118.7	109.9	101.3	93.1	84.5	74.3	67.2	59.5	53.0	20.3	37.2	30.6	26.1	21.9	18.8	16.6	14.1
<b>VAN (MMU\$D)</b>	<b>846.85</b>																			

Fuente: Elaboración propia

#### 2.1.1.2. Desarrollo de la normativa de importación de vehículos

Por otro lado, se estimó también la cantidad de recursos necesarios para el estudio previo de esta política, la elaboración de la normativa y la aplicación de la misma por parte de los entes correspondientes, suponiendo un gasto inicial en capacitaciones y preparación del personal.

Para la elaboración de la normativa se supone necesario contar con los siguientes recursos humanos.

Recurso	Horas	Salario BS	Valor Hora	Valor Hs U\$D	Precio Sombra	MMU\$D
Jefe de Unidad III - Especialista I	250	\$ 12,300	\$ 68.3	\$ 9.90	\$ 2,476	\$ 0.00
Responsable II - Profesional I	250	\$ 10,150	\$ 56.4	\$ 8.17	\$ 2,043	\$ 0.00
Profesional IV	900	\$ 8,750	\$ 48.6	\$ 7.05	\$ 6,341	\$ 0.01
Profesional VI	900	\$ 7,650	\$ 42.5	\$ 6.16	\$ 5,543	\$ 0.01
<b>Total</b>	<b>\$0.02</b>					

#### 2.1.1.3. Implementación del control de las importaciones de vehículos

Por otra parte, se asume que para implementar la política es necesario desembolsar U\$D 0.5 MM para capacitar al personal y dado que anualmente el Estado dispone del presupuesto para la unidad de control operativo aproximadamente Bs 20 millones (años 2013-2015), se supone que fiscalizar la norma implica un aumento en los costos aduaneros de BS 1 millón anual. Como resultado en el primer año será necesario U\$D 0.195 Millones, y a partir de este momento el costo anual baja a U\$D 0.145 millones.

En conjunto, tomando en cuenta la elaboración e implementación de la regulación, conjuntamente con los costos adicionales relacionados con el control del cumplimiento de la misma, el valor actual del costo de esta política es cercano a U\$D 1.2 millones.

## 2.2. Mejoras en la seguridad vial

### 2.2.1. Hipótesis y consideraciones para la evaluación

El programa de intervenciones incluye tópicos que apuntan a mejorar la seguridad vial en las carreteras del país, siendo la principal acción política en ese ámbito la confección del Plan Nacional de Seguridad Vial. Se prevé además la elaboración de un Manual de prevención de accidentes en carreteras. Asimismo, la seguridad vial también se verá beneficiada por otras políticas componentes del programa, relacionadas con la intervención y mejora en la red vial y con un mejor mantenimiento.

- ✓ 3.4 Implementación del sistema nacional de revisión técnica vehicular,
- ✓ 3.7 Aprobación del marco normativo del Plan Nacional de Seguridad Vial,
- ✓ 3.8 Fiscalización de la implementación de mecanismos que contribuyan a la prevención de accidentes,
- ✓ 3.28 Programa de intervención en puntos críticos.

### 2.2.2. Caracterización de la siniestralidad

Los índices de siniestralidad en las carreteras son una fuente de preocupación en toda la región, situación a la que no escapa Bolivia. A continuación se observan las series de muertes y heridos que se reportan oficialmente, en el sitio de INE.

Tabla 16 – Estadísticas de seguridad vial

Año	Herido	Var Anual (%)	Muerte	Var Anual (%)
2000	5,356	n.a.	681	n.a.
2001	7,067	32%	796	17%
2002	8,868	25%	766	-4%
2003	9,639	9%	898	17%
2004	10,499	9%	819	-9%
2005	11,058	5%	753	-8%
2006	11,956	8%	1,465	95%
2007	13,481	13%	1,073	-27%
2008	13,309	-1%	1,248	16%
2009	12,934	-3%	973	-22%
2010	13,673	6%	1,294	33%
2011	15,077	10%	1,335	3%
2012	16,747	11%	1,557	17%
2013	17,204	3%	1,848	19%

Fuente: Elaboración propia en base al INE. <http://www.ine.gob.bo/>. 2016

De acuerdo a los reportes de la OMS<sup>12</sup> (2013,2015), Bolivia se encuentra categorizado como un país de Grupo 4 junto con otros 78 países en donde la calidad de la información hace necesario estimar la cantidad de muertes mediante una regresión binomial. En el Reporte del año 2015 la OMS estima que en el 2013 la cantidad de muertos cada 100mil era de 23.2, mientras que según el INE el valor para el mismo año era de 17.6; una diferencia del 30% en favor de la OMS. Por lo tanto, para la estimación de los costos de accidentes, a la cantidad de muertes del INE, se le suma un 30% adicional. El valor de este supuesto, será luego tenido en cuenta en la sección de sensibilidad.

### **2.2.3. Costos**

#### **2.2.3.1. Plan Nacional de Seguridad Vial**

El costo del Plan Nacional de Seguridad Vial se realizó mediante la comparación de casos similares en distintos países de Latinoamérica (Paraguay, Ecuador, Colombia, Argentina, México y Honduras<sup>13</sup>) y adoptando valores promedio que fueron luego adaptados al tamaño del caso boliviano. Se tomó como supuesto que el plan tendrá continuidad durante todo el horizonte de análisis, demandando anualmente para su implementación cerca de 1,37 MMUSD/año.

#### **2.2.3.2. Manual de Prevención de accidentes**

El manual de seguridad vial fue costado partiendo de la necesidad de horas-hombre para su elaboración y valorándolas luego a partir de la nómina salarial del VMT. Se tomó en cuenta además el costo de la edición e impresión de los volúmenes.

#### **2.2.3.3. Intervenciones de seguridad vial – puntos negros**

Para mejorar la seguridad vial se tomó como hipótesis una serie de intervenciones en la red vial. Este programa incluye señalización y mejora de banquetas, así como intervenciones específicas en puntos críticos. La falta de información sobre la localización de los accidentes, no permite cuantificar la gravedad de la situación en las carreteras. Se espera que las nuevas regulaciones compilen adecuadamente información de los accidentes y se determine una metodología para localizar los puntos negros en la red fundamental. Por lo tanto, para reducir las tasas de accidentes, se determina que 300 puntos de alta accidentalidad serán intervenidos. La selección de los sitios se realizará a través de entrevistas con actores claves y por lo tanto se podrá realizar un primer listado de los puntos a ser tratados con mayor prioridad. Dada la magnitud de los montos y la cantidad de obras, los 300 serán trabajados en un marco temporal de 3 años.

---

<sup>12</sup> Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2015.

[http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2015](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015)

<sup>13</sup> Fuentes: “Plan Nacional de Seguridad Vial” (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de Paraguay – BID, 2008), “Fortalecimiento institucional Agencia Nacional de Seguridad Vial” (Ministerio del Interior y Transporte de Argentina – PNUD, 2012), “Informe sobre el estado de la seguridad vial en la región de las Américas” (Organización Panamericana de la Salud, 2009), “Análisis de la Capacidad de Gestión de la Seguridad Vial – Colombia” (World Bank – GRSF, 2013) y “Acciones para el Fortalecimiento de la Seguridad Vial” (Gobierno Federal de México, 2012).

En el año 2008, en España se ha trabajado sobre un total de 776 puntos negros<sup>14</sup>. En el mismo año en Galicia, sitio con mayor número de siniestros de España, se intervinieron 38 puntos críticos y se invirtió un monto que se aproxima a 48 Millones de U\$D<sup>15</sup>. A partir de estas experiencias internacionales se estimó que el costo de mejorar cada punto negro es equivalente a U\$D 1.47 millones, para el contexto del país en precios sombras. Así el costo a precio sombra en cada año equivale a U\$D 146.6 Millones.

Además de las intervenciones físicas, el programa que aquí se evalúa, propone realizar esfuerzos para coordinar, confeccionar y aplicar el Plan Nacional de Seguridad Vial, la elaboración y divulgación del Manual de prevención de accidentes en carretera e intervenciones en la red vial. Cabe aclarar que la disminución en la accidentalidad no sólo tiene que ver con la aplicación de estas políticas que son específicas de la seguridad vial, sino también con otras acciones incluidas en el Programa -como la regulación de los servicios de transporte público, el sistema de revisión técnica vehicular, la mejora del estado de las carreteras, etc.- que tienen una gran influencia sobre esta temática. Es necesaria la acción conjunta de estas políticas para lograr el objetivo esperado. La interconexión de todas estas intervenciones dificulta la cuantificación individual de cada uno de los efectos de estas políticas. Por lo tanto, en la situación con proyecto todos los efectos combinados se encuentran tomados en cuenta.

Estos costos se reflejan en el siguiente cuadro.

---

<sup>14</sup>[http://www.elmundo.es/especiales/2008/08/elmundomotor/seguridad\\_vial/2009/01/09/seccion\\_12/1231516313.html](http://www.elmundo.es/especiales/2008/08/elmundomotor/seguridad_vial/2009/01/09/seccion_12/1231516313.html)

<sup>15</sup> <http://www.farodevigo.es/galicia/2015/12/15/galicia-comunidad-tramos-negros-carretera/1370150.html>



Tabla 17 – Costos de las políticas de seguridad vial. En MM USD valor corriente

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Plan Nacional de Seguridad Vial	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Elaboración Manual de prevención de accidentes	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Intervenciones de seguridad vial	146.6	146.6	146.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total MMUSD</b>	<b>148</b>	<b>148</b>	<b>148</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18 – Costos de las políticas de seguridad vial. En MM USD valor presente

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Plan Nacional de Seguridad Vial	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Elaboración Manual de prevención de accidentes	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Intervenciones de seguridad vial	146.6	130.9	116.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total MMUSD</b>	<b>406</b>																			

Fuente: Elaboración propia.

#### **2.2.4. Beneficios (disminución de la accidentalidad)**

Para contabilizar los beneficios, fue necesario estudiar e inferir el comportamiento futuro de la seguridad vial en el país. A partir de los datos de siniestralidad se realizó una proyección del comportamiento de la accidentalidad en el horizonte de cálculo. Para estimar la cantidad de muertos a partir del 2013, se usa una regresión lineal con el PBI per cápita. La relación se describe con una constante de 409 y una pendiente de 0.45 por cada dólar per cápita adicional. Al momento de ocurrir los accidentes se produce cierta cantidad de muertes, sin embargo, otras muertes pueden darse posterior al accidente o incluso no estar registradas bajo el accidente mismo. Por lo tanto, suponemos que el dato del INE se encuentra subestimado, y a las muertes in-sitio se le agrega un 30%<sup>16</sup> adicional por muertes que no ocurren en el momento del accidente. La tasa de heridos crece hasta el 2017 a la tasa de los últimos años de estudio y luego, sigue la misma tasa de crecimiento que las muertes. El resultado es una tasa de crecimiento promedio que se aproxima a 3%.

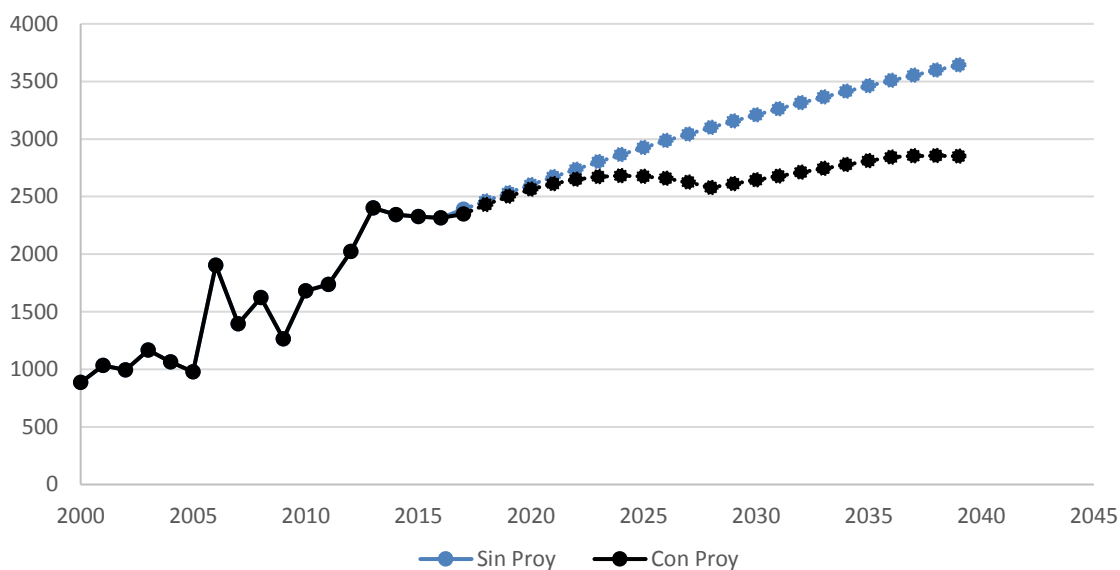
Para la situación CP, se supuso que a partir de la aplicación de las políticas propuestas los índices de accidentalidad desaceleran su crecimiento. La hipótesis utilizada es que el 3% de crecimiento anual en muertes por habitante se reduce año a año hasta volverse un crecimiento negativo, que disminuye este indicador hasta que finalmente se estabiliza en el orden de 20 fallecidos cada 100.000 habitantes. Esta es una hipótesis que contempla el hecho de que durante los primeros años la política no genera cambios significativos. Esta posición se ha adoptado en vistas de las dificultades que presenta disminuir los índices de siniestralidad, aun haciendo uso de las políticas adecuadas y dada la necesidad de un "tiempo de maduración" de este tipo de políticas.

En la situación inicial, al año 2019, se observa que la cantidad de muertes cada 100mil habitantes será del orden de 22.1. En el caso de que los cambios regulatorios no se hagan efectivos, al año 2038, la cantidad de muertes cada 100mil habrá subido a 24.6, mientras que de hacerse efectivos los cambios, la tasa de fallecidos cada 100 mil habrá disminuido a 20.

---

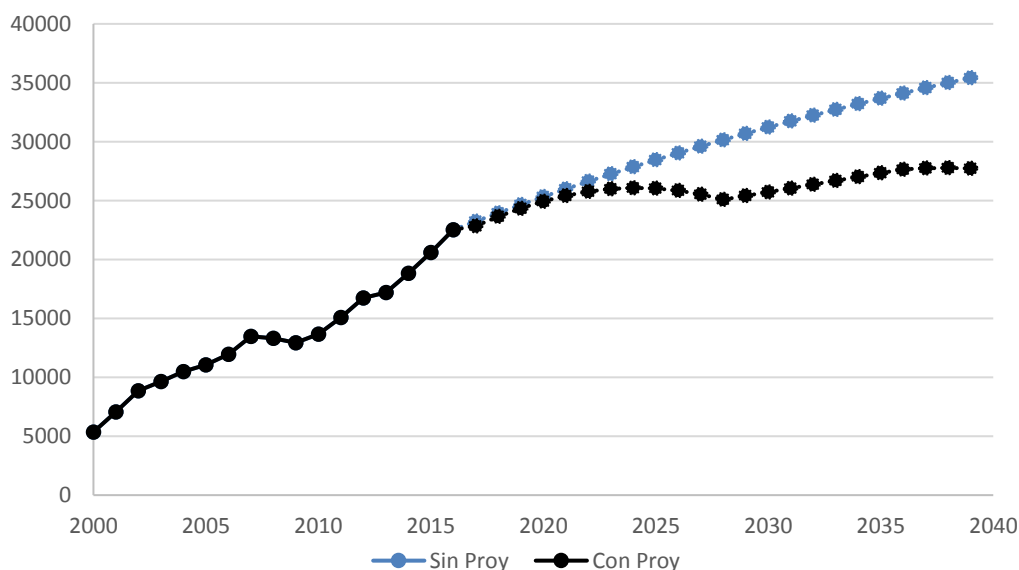
<sup>16</sup> Como se mencionó anteriormente, este factor del ajuste del 30% se realiza de acuerdo a las recomendaciones de los reportes de la OMS (2013,2015), de tal manera que el indicador refleje adicional por muertes que no ocurren en el momento del accidente.

Gráfico 13 – Evolución de muertos con y sin proyecto



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14 – Evolución de Heridos con y sin proyecto



Fuente: Elaboración propia

El descenso en la accidentalidad tiene asociada una disminución en el costo total que implica para la sociedad los muertos y heridos. Los costos asociados a estos hechos no hacen referencia al precio de la vida de las personas, sino los costos médicos, destrucción de vehículos y pérdida en la productividad para la economía en su conjunto. Según aconseja el International Road Assessment Program (IRAP): el costo social por herido es 17 veces el ingreso per cápita y por fallecido es 70 veces el ingreso per cápita<sup>17</sup>. En base a esta

<sup>17</sup> "iRAP Methodology Fact" (International Road Assessment Program, 2013)

recomendación, se calcularon los costos sociales de los accidentes viales en cada escenario. A continuación se muestran las proyecciones de la accidentalidad.

Tabla 19 – Estimación de la cantidad de heridos y fallecidos por accidentes viales. Situación Con y Sin Proyecto

Accidentes	Período / Año																			
SP	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Muertes cada 100mil hab	22.1	22.4	22.6	22.9	23.1	23.3	23.5	23.7	23.8	23.9	24.1	24.2	24.3	24.3	24.4	24.5	24.5	24.6	24.6	24.6
Muertes por año	2534	2603	2671	2737	2801	2864	2925	2985	3043	3100	3155	3209	3262	3314	3364	3413	3461	3508	3553	3598
Heridos por año	24649	25327	25988	26630	27255	27866	28461	29042	29608	30159	30699	31226	31740	32241	32730	33208	33674	34129	34572	35004
CP	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Muertes cada 100mil hab	22.1	22.4	22.3	22.4	22.4	22.3	22.1	21.8	21.3	20.8	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.0
Muertes por año	2534	2567	2629	2680	2717	2740	2750	2745	2725	2692	2645	2679	2713	2747	2781	2814	2848	2882	2916	2925
Heridos por año	24649	25327	25580	26071	26432	26661	26752	26704	26517	26192	25734	26063	26393	26723	27052	27382	27712	28041	28370	28459

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20 – Valor actual de los costos de la accidentalidad. Situación Con y Sin Proyecto en MM USD

Accidentes										Período / Año											
SP	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
Costo anual por heridos	1434	1525	1616	1707	1798	1889	1980	2070	2161	2251	2341	2430	2519	2607	2694	2781	2867	2952	3036	3119	3201
Costo anual por fallecidos	607	645	684	722	761	799	838	876	915	953	991	1028	1066	1103	1140	1177	1213	1249	1285	1320	1355
<b>Costo total (MMUSD)</b>	<b>2041</b>	<b>2170</b>	<b>2300</b>	<b>2429</b>	<b>2559</b>	<b>2688</b>	<b>2818</b>	<b>2947</b>	<b>3075</b>	<b>3203</b>	<b>3331</b>	<b>3458</b>	<b>3585</b>	<b>3710</b>	<b>3834</b>	<b>3958</b>	<b>4080</b>	<b>4201</b>	<b>4321</b>	<b>4439</b>	<b>4556</b>
CP	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
Costo anual por heridos	1434	1503	1590	1671	1743	1807	1861	1904	1935	1955	1962	2028	2094	2160	2227	2293	2359	2425	2491	2536	2574
Costo anual por fallecidos	607	636	673	707	738	765	788	806	819	827	830	858	886	914	942	970	998	1026	1054	1073	1089
<b>Costo total (MMUSD)</b>	<b>2041</b>	<b>2139</b>	<b>2263</b>	<b>2378</b>	<b>2481</b>	<b>2572</b>	<b>2648</b>	<b>2710</b>	<b>2754</b>	<b>2782</b>	<b>2792</b>	<b>2887</b>	<b>2981</b>	<b>3075</b>	<b>3169</b>	<b>3263</b>	<b>3358</b>	<b>3452</b>	<b>3546</b>	<b>3609</b>	<b>3663</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21 – Valor actual de los beneficios de la disminución en la accidentalidad

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
Diferencia SP-CP (MMUSD)	0	30	36	51	77	116	169	237	321	421	539	572	604	635	665	694	722	749	775	830	892
Valor Actual	0	27	29	36	49	66	86	107	130	152	173	164	155	146	136	127	118	109	101	96	93

<b>VAN</b>	
<b>(MMU\$D)</b>	<b>2007.4</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 2.3. Mejoras en las condiciones de la red vial

La red fundamental de Bolivia necesita mantenimiento y remodelaciones. De acuerdo a datos de ABC, aproximadamente 50% de la red de carreteras principales se encuentra en una condición estructural Buena y más del 30% con condición superficial Mala o Muy Mala. Esto repercute en incremento de costo operativo, por disminución de velocidad comercial y mayor tasa de accidentes. Entonces, resulta necesaria una intervención que mejore y luego mantenga el estado de las carreteras.

Las regulaciones que el estado boliviano están intentando desarrollar y aprobar, están orientadas a mejorar el estado de las carreteras, reducir el costo de mantenimiento y al mismo tiempo incrementar el cuidado que se produce como resultado de malos controles, especialmente, por vehículos de carga que superan los pesos máximos permitidos. A continuación se listan, las regulaciones que serán aprobadas en el año 2019, que pueden ser cuantificadas con el fin de determinar sus costos y beneficios. A continuación se listan las regulaciones de la segunda fase incluidas en este apartado:

- ✓ 3.9 Estaciones de control de pesos y dimensiones vehiculares en operación,
- ✓ 3.25 Inventario vial completo y actualizado,
- ✓ 3.27 Intervenciones de conservación vial priorizadas.

Este conjunto de políticas apuntan además a mantener una mejor condición de la red vial por más tiempo. El estado de las carreteras repercute directamente no sólo en el tiempo de viaje sino también en el costo de operación de los vehículos que hacen uso de ellas, en tanto afecta el desgaste de sus partes y determina riesgos de rotura. Es por esto que mantener durante un mayor tiempo un estado aceptable de la red vial conlleva un beneficio social.

### 2.3.1. Hipótesis y consideraciones para la evaluación

Para poder determinar los costos y beneficios de las regulaciones que se tienen en cuenta en este apartado una de las variables fundamentales a construir fue el armado de una serie temporal de TMDA. Para esto se utilizan datos de ABC del 2012 y se procesa la base de datos para obtener como era la distribución vehicular en aquel momento. Los resultados del trabajo de esta base de datos se presentan a continuación.

Tabla 22 – Valor actual de los beneficios de la disminución en la accidentalidad

	Liviano	Bus	Cliviano	Cpesado	Total
Total	311,912	20,877	40,730	52,492	426,011
Porcentaje	73.2%	4.9%	9.6%	12.3%	100%

Fuente: Elaboración propia en base a ABC TMDA 2012.

La tasa de crecimiento del TMDA es estimada a partir de la multiplicación de la elasticidad ingreso para cada tipo de vehículo y la tasa de crecimiento de del PBI per cápita para los



vehículos de pasajeros y del PBI para los de carga. Para la elasticidad que propone Vialidad Nacional de Argentina, calculada en base a datos históricos.

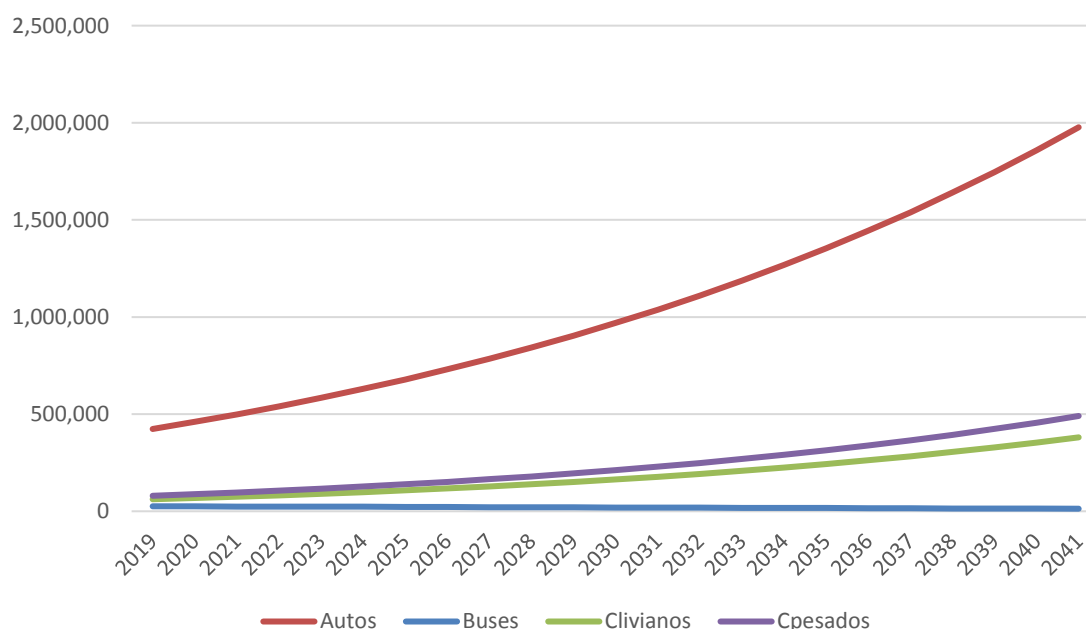
**Tabla 23 – Elasticidad del TMDA respecto de las variaciones en el PBI y en el PBI per cápita por tipo de vehículo**

Elasticidad Ingreso	
Automóviles Livianos	1,05
Buses	0,95
Camiones Livianos	1,05
Camiones Pesados	1,05

Fuente: Elaboración propia en base a información de Vialidad Nacional de Argentina

La tasa de crecimiento para cada tipo de vehículo que se obtienen son 1.05 para autos, 0.95 para buses, 1.05 para los vehículos de carga livianos y pesados. La serie de TMDA resultante se muestra a continuación.

**Gráfico 15 – Evolución de TMDA por tipo de vehículo**



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, con los datos de la composición de la red vial fundamental es posible determinar la cantidad de vehículos de cada tipo que pasan en cada año. Tomando las distancias que recorren en promedio los vehículos, se determina la cantidad total de kilómetros.

A partir de datos, de del Programa Red del Banco Mundial en el Modelo de Evaluación Económica de Caminos de Bajo Volumen de Tránsito (RED) se obtienen los valores de costos operativos y velocidades. Los mismos serán presentados en las secciones correspondientes.

### **2.3.2. Caracterización de la red vial**

La red vial en Bolivia se encuentra actualmente en mal estado: según datos de la ABC, aproximadamente 50% de la red de carreteras principales se encuentra en una condición estructural Buena y más del 30% con condición superficial Mala o Muy Mala. Esto repercute en incremento de costo operativo, por disminución de velocidad comercial y mayor tasa de accidentes. Entonces, resulta necesaria una intervención que mejore y luego mantenga el estado de las carreteras.

Los motivos de este estado de la red son variados, e incluyen además de cuestiones naturales (geográficas y climáticas), falta de legislación y control sobre el uso de las carreteras, insuficiente mantenimiento, problemas de información, entre otros.

El conjunto de políticas del Programa busca establecer herramientas y condiciones necesarias para que el país pueda reacondicionar y mantener su red vial en buen estado. Para ello se prevé primeramente la confección y permanente actualización de un inventario vial calificado, el cual en la actualidad no está debidamente elaborado. Conjuntamente con este inventario, se desarrollará un sistema de registro y clasificación de conteos vehiculares. Estas políticas permitirán al ente a cargo del mantenimiento (ABC) poder hacer una correcta lectura de la realidad de las carreteras y su utilización y priorizar a partir de tal información un cronograma de mantenimiento e inversión acorde.

### **2.3.3. Costos**

#### **2.3.3.1. Confección Inventario Vial calificado**

A partir de trabajos similares realizados en Ecuador<sup>18</sup>, se estimó el costo de la confección del inventario vial (ajustando los valores al tamaño de la red boliviana). Los valores fueron luego corroborados con datos de Colombia<sup>19</sup>, siendo los montos muy similares. De estos trabajos, además, se extrajeron las necesidades de personal y maquinaria para llevar a cabo la permanente actualización de dicho inventario. El resultado de este costeo arrojó un desembolso de 1,28 MMUSD los primeros dos años para confeccionar el inventario y a partir de entonces 0,23 MMUSD anuales para su actualización.

#### **2.3.3.2. Sistema de registro y clasificación de conteos**

Por el lado del sistema de conteos, se supuso la instalación de un sistema de estaciones de conteo permanente en puntos estratégicos de la red. En base a sistemas similares instalados en Argentina, Costa Rica y México, se estimó necesaria la disposición de 100 puntos de conteo para abarcar convenientemente la red. Se realizó entonces un costeo para determinar los montos a desembolsar para la instalación de todos los equipos necesarios, la confección del sistema de gestión de la información y el personal para cada tarea. El desembolso inicial de 10,4 MMUSD –calculado en base a información del mercado- se divide en los primeros dos

<sup>18</sup> "Documentos de licitación para la contratación del inventario georeferenciado de la red vial" (Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Ecuador - BID, 2011).

<sup>19</sup> "Licitación para elaboración de inventarios viales" (Ministerio de Transporte de Colombia – BID, 2012).

años mientras que luego se requieren 0,1 MMUSD anuales para mantenimiento y reparaciones.

#### 2.3.3.3. *Balanzas (Instalación y mantenimiento)*

Otra medida planteada es la Ley de Control de Pesos y Dimensiones Vehiculares. Actualmente las carreteras bolivianas sufren un deterioro acelerado a causa de los sobrepesos a los que se ven expuestas, producto de un sistema de controles vehiculares deficiente. Una carretera pierde rápidamente su calidad al verse sometida a pesos más allá de los previstos en la etapa de diseño, por lo que es muy difícil que la misma cumpla con su estipulada vida útil. Esto ocasiona mayores gastos en mantenimiento y peores estados de las carreteras, que se traducen en mayores costos operativos para los vehículos que deben utilizarlas.

Para poder implementar debidamente estos controles será necesaria la instalación de básculas para camiones en diversos Entre el año 2013 y 2020, se intentará aumentar la cantidad de balanzas de 16 a 21. Como resultado que actualmente, no se dispone con exactitud la cantidad de balanzas compradas y funcionando, se avanza con la hipótesis que serán necesarias un total de 21. Las mismas serán incorporadas en los primeros 3 años. Esto implicará un desembolso anual de U\$D 0.88 millones.

Según el Manual de Básculas para camiones, en México se estima que el costo de la instalación de una balanza se aproxima a U\$D 42,000 y su instalación y mantenimiento se aproximan a USD 6,400<sup>20</sup> (año 2005). En el 2013 Bolivia ha comprado Básculas y se han mantenido; los costos de las mismas rondan los U\$D 125 mil y el costo de mantenimiento anual es de U\$D 19 mil<sup>21</sup>. Diversas fuentes consultadas arrojan un costo promedio por la compra e instalación de cada báscula cercano a los U\$D 125,000 y un costo anual de mantenimiento de U\$D 19,000. A estos valores se agregaron los costos de los operativos para verificar el cumplimiento de la normativa en las carreteras y evitar que se evadan los controles de peso.

#### 2.3.3.4. *Rehabilitación vial*

Dado el estado actual de la red vial, es necesario plantear primero un plan de rehabilitación de la misma que solucione los graves problemas que tienen hoy las carreteras, principalmente a nivel estructural. Como hipótesis para el cálculo posterior de beneficios, se tomó que las rehabilitaciones tendrán como objetivo solucionar los problemas estructurales en su totalidad y además mejorar las condiciones de superficie de las carreteras. Para éste cálculo, se utilizan los estudios de rugosidad que presenta ABC. Los mismos consisten en determinar la calidad de las vías. A partir del análisis de esta información se considera como Bueno los ejes que presenten un IRI inferior a 2, Regular, entre 2 y 5, Malo entre 5 y 7 y Muy Malo mayor a 7. Por lo tanto, usando estas categorías, se entiende que el objetivo de la política es lograr que la totalidad de las vías sea al menos Regular. ( $IRI \leq 5$ ). Para realizar el costeo de las obras se utilizaron valores internacionales: un costo de obras de estructura de 700.000 USD/Km y un costo de obras en superficie de 250.000 USD/Km. El monto total que debe sumarse a las

<sup>20</sup> <https://www.logismarket.com.mx/ip/tec-electronica-basculas-de-camion-sin-fosa-guia-basculas-para-camiones-421284.pdf>

<sup>21</sup> <http://eju.tv/2013/08/la-sobrecarga-de-los-camiones-daa-vas-de-santa-cruz/>

inversiones que se vienen realizando para llevar la red vial a un buen estado (sin contar mantenimiento) es de casi 2.100 MMUSD, desembolsados según un cronograma de 7 años.

En el escenario SP, entretanto, se supone que se mantiene el estado actual de las carreteras, dado que no se realizan cambios en las políticas actuales de mantenimiento y rehabilitación de la red vial. Esto supone inversiones que son comunes a ambos escenarios, ya que son las mínimas necesarias para que el estado de la red vial se mantenga y no siga deteriorándose, aunque sin ser suficientes para mejorarlo (ver ítem "Inversión básica en rehabilitación" en Tabla 25).

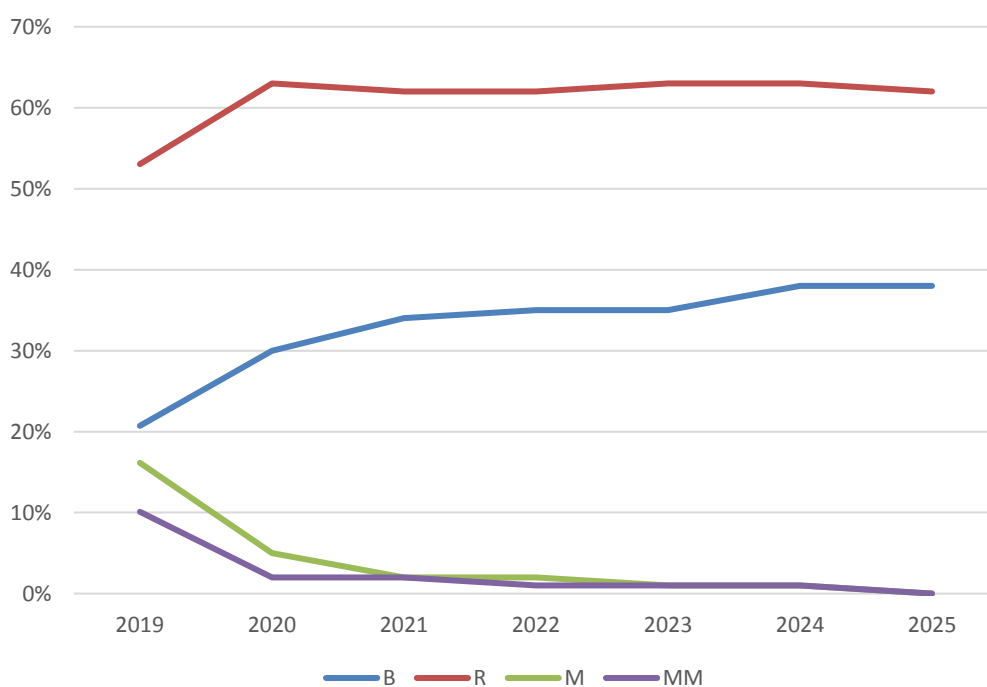
**Tabla 24 – Valor actual de los costos de las políticas de mejora del estado vial. En MM USD**

Valor Actual	
Inventario vial calificado actualizado	3,9
Sistema de registro y clasificación de conteos	10,5
Pesos por eje: Instalación de balanzas	2,2
Pesos por eje: Mantenimiento y control	3,5
Rehabilitación Vial	1572,5
<b>Costo Total</b>	<b>1593,0</b>

Fuente: Elaboración propia.

En base a los análisis realizados y lo que se espera que suceda en la situación con proyecto, se estima una posible evolución del mejoramiento vial, en donde para el final del año 7, el 100% de la red vial deberá estar en un estado por lo menos regular ( $IRI \geq 4$ ). Los efectos de la evolución del mejoramiento vial se presentan en el siguiente gráfico, donde se puede ver la situación inicial sin proyecto y cómo son los años siguientes en caso de aplicar el conjunto de normativas.

**Gráfico 16 – Evolución de Heridos con y sin proyecto**



Fuente: Elaboración propia

En base a los costos que fueron especificados más arriba, a continuación se muestran los flujos que se encuentran asociados a estos cambios regulatorios.

**Tabla 25 – Valor actual de la inversión en mantenimiento y rehabilitación de carreteras. Situación Sin Proyecto en MM USD**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Mantenimiento	56,8	50,8	45,3	40,5	36,1	32,3	28,8	25,7	23,0	20,5	18,3	16,3	14,6	13,0	11,6	10,4	9,3	8,3	7,4	6,6
Plan de Rehabilitación de la Superficie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Plan de Rehabilitación de la Estructura	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Inversión básica en rehabilitación <sup>22</sup>	336,0	300,0	267,9	239,2	213,5	190,7	170,2	152,0	135,7	121,2	108,2	96,6	86,2	77,0	68,8	61,4	54,8	48,9	43,7	39,0
<b>Costo Total</b>	<b>392,8</b>	<b>350,8</b>	<b>313,2</b>	<b>279,6</b>	<b>249,7</b>	<b>222,9</b>	<b>199,0</b>	<b>177,7</b>	<b>158,7</b>	<b>141,7</b>	<b>126,5</b>	<b>112,9</b>	<b>100,8</b>	<b>90,0</b>	<b>80,4</b>	<b>71,8</b>	<b>64,1</b>	<b>57,2</b>	<b>51,1</b>	<b>45,6</b>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>22</sup> Información extraída del Programa de Operaciones Anual 2014 de la ABC: Programa de Operaciones de Inversión (ABC 2014).

**Tabla 26 – Valor actual de la inversión en mantenimiento y rehabilitación de carreteras. Situación Con Proyecto  
en MM USD**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Mantenimiento	36,4	32,5	29,0	25,9	23,1	20,6	18,4	16,5	14,7	13,1	11,7	10,5	9,3	8,3	7,4	6,6	5,9	5,3	4,7	4,2
Plan de Rehabilitación de la Superficie	44,3	39,5	35,3	31,5	28,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Plan de Rehabilitación de la Estructura	272,7	243,5	217,4	194,1	173,3	154,8	138,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Inversión básica en rehabilitación <sup>23</sup>	336	300	267,9	239,2	213,5	190,7	170,2	152,0	135,7	121,2	108,2	96,6	86,2	77,0	68,8	61,4	54,8	48,9	43,7	39,0
<b>Costo Total</b>	<b>689,4</b>	<b>615,5</b>	<b>549,6</b>	<b>490,7</b>	<b>438,1</b>	<b>366,1</b>	<b>326,8</b>	<b>168,4</b>	<b>150,4</b>	<b>134,3</b>	<b>119,9</b>	<b>107,1</b>	<b>95,6</b>	<b>85,3</b>	<b>76,2</b>	<b>68,0</b>	<b>60,7</b>	<b>54,2</b>	<b>48,4</b>	<b>43,2</b>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>23</sup> Ibíd.

#### **2.3.4. Beneficios**

Debido a la interdependencia que existe entre estas políticas, los beneficios no han sido calculados de forma individual sino que se han tomado a estas políticas como componentes necesarios para resultados conjuntos. En definitiva, las medidas propuestas trabajarán simultáneamente para obtener tres tipos de beneficios:

- Disminución del costo unitario del mantenimiento,
- Reducción de los costos operativos por un mejor estado de las carreteras, y
- Ahorro de tiempos.

Los beneficios de las mejoras en los caminos se forman básicamente de ahorros en costo operativo de vehículos y de tiempo de viaje de los ocupantes o pasajeros, y ambos componentes dependen de la velocidad media en los caminos antes y después de la mejora. Las velocidades en cuestión pueden ser relevadas para el caso de estudios específicos arrojando gran dispersión de resultados; o pueden ser elaboradas a partir de las recomendaciones de los manuales de ingeniería de tránsito adoptados por las autoridades viales. En ausencia de relevamientos específicos se utilizan estos últimos datos.

##### **2.3.4.1. Disminución del costo unitario del mantenimiento**

El primero de estos puntos está relacionado con el salto en eficiencia que se puede lograr al conocer con mejor nivel de detalle las características de la red vial y el uso que se hace de la misma. A partir de esta información es posible aplicar esfuerzos allí donde es más necesario y no consumir recursos en acciones que no sean prioritarias o directamente innecesarias. Una mayor eficiencia tiene como consecuencia una mejor utilización de los recursos, lo que se traduce en mejores resultados y menores costos. A su vez, la aplicación de la Ley de Control de Pesos Vehiculares permitirá disminuir el deterioro de las carreteras, ampliando así su vida útil y disminuyendo la necesidad de mantenimiento y rehabilitación. Con el desarrollo de estas políticas es esperable una reducción en el costo por kilómetro de mantenimiento hacia valores que ostentan hoy países que ya han aplicado políticas de racionalización del mantenimiento y control de pesos. Actualmente, en base al informe de gestión de ABC, en el año 2014 se destinan aproximadamente U\$D 105 millones en programas de conservación para un total de 12.746 mil km de carreteras; esto equivale a un costo de mantenimiento de U\$D 8,203/km. Los países de la región donde se encontraron datos de costos exclusivamente de mantenimiento (sin rehabilitación o inversiones en infraestructura) fueron Chile y Uruguay. En Chile el promedio de costo de mantenimiento es 3.900 USD/Km y en Uruguay 2.400 USD/Km, según la información encontrada<sup>24</sup>. A los valores hallados para estos países, se les ajustó la parte correspondiente a la mano de obra (según una estructura de costos estándar) a partir del ingreso per cápita de estos países y de Bolivia. Tomando en cuenta la geografía boliviana, se adoptó un valor intermedio entre aquellos dos dado que la red vial uruguaya se encuentra

<sup>24</sup> Fuentes: “Programa conservación por administración directa” (Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2010), “Diálogo sobre gestión vial” (Banco Mundial, 2005), “Infraestructura vial del Uruguay 2015-2030” (Cáceres y Farinasso, 2013) y “Modelo uruguayo de pequeñas y medianas empresas de conservación vial” (Dircaibe, 2002).

casi en su totalidad en llanura y la chilena tiene un porcentaje alto de carreteras en zona montañosa o accidentada.

Finalmente, el costo estimado de mantenimiento vial para la situación CP es de 2,854 USD/Km. Esta reducción genera un beneficio cuyo valor actual estimado es cercano a los 116 MM USD.

**Tabla 27 – Valor actual de la inversión en mantenimiento y rehabilitación de carreteras. Situación Con Proyecto en MM USD**

	Kms mantenidos	Costo/Km	Costo Mantenim (US\$)
SP	12,746	8,203	104,552,508
CP	12,746	2,854	36,376,065
Ahorro	12,746	5,349	68,176,444

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestra el flujo de desembolsos esperados en cada escenario para mantenimiento y rehabilitación de carreteras.



**Tabla 28 – Valor actual de la inversión en mantenimiento y rehabilitación de carreteras. Situación Con Proyecto en MM USD**

Costo Mant MMUSD	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
SP	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6
CP	104.6	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Ahorro</b>	<b>0.0</b>	<b>98.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>	<b>104.6</b>
TdD	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.5	3.9	4.4	4.9	5.5	6.1	6.9	7.7	8.6
Valor actual	0.0	88.0	83.3	74.4	66.4	59.3	53.0	47.3	42.2	37.7	33.7	30.1	26.8	24.0	21.4	19.1	17.1	15.2	13.6	12.1
<b>VAN</b>	<b>764.8</b>																			

Fuente: Elaboración propia. Reducción de los costos operativos por un mejor estado de las carreteras

#### 2.3.4.2. Reducción de los costos operativos por un mejor estado de las carreteras

Cada estado de carretera (bueno, regular, malo, etc.) tiene asociado un determinado costo de operación en tanto y en cuanto el mismo afecta a los vehículos. La reducción de estos costos operativos fue contabilizada como el beneficio resultante de contar con una red vial en mejor estado.

Partiendo del estado actual de la red vial y del cronograma de obras de rehabilitación mencionada más arriba, se estableció cómo será la mejoría gradual del estado de la red a partir de la implementación de estas políticas. El primer año se supuso con un estado de carreteras igual que el actual dado que todavía no podrían evidenciarse los efectos de las rehabilitaciones.

Tabla 29 – Estado actual de la red vial y su proyección como % del total

Estado (IRI)	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
B	21%	30%	34%	35%	35%	38%	38%
R	53%	63%	62%	62%	63%	63%	62%
M	16%	5%	2%	2%	1%	1%	0%
MM	10%	2%	2%	1%	1%	1%	0%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>103%</b>	<b>100%</b>

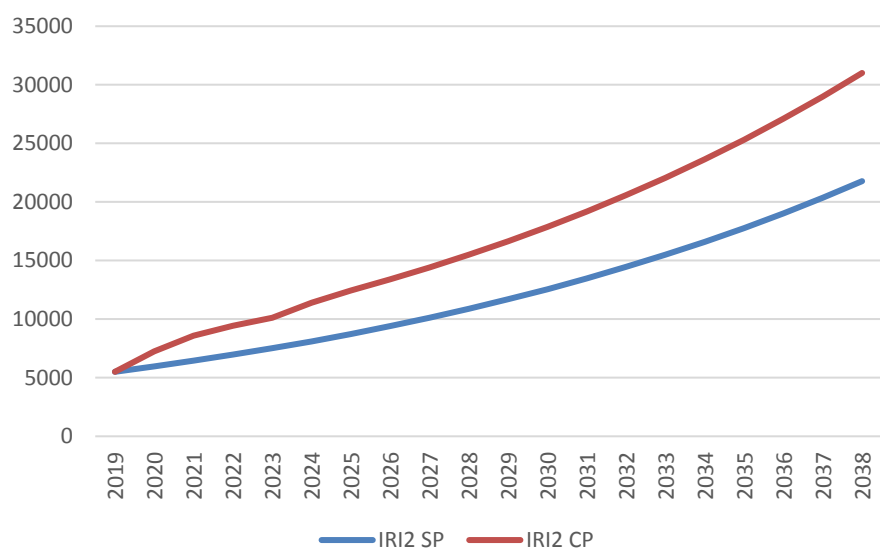
Fuente: Elaboración propia.

Luego en base al PBI, PBI per cápita y la distribución del TMDA según los diferentes vehículos se procedió a elaborar se genera la proyección del TMDA (Ver sección de supuestos, hipótesis y consideraciones).

Entonces combinando serie de TMDA, la evolución del estado de las rutas y la cantidad de kilómetros que recorren los vehículos en promedio, fue posible calcular la distancia recorrida sobre los diferentes tipos de rutas (medido por su IRI), según la tipología vehicular.

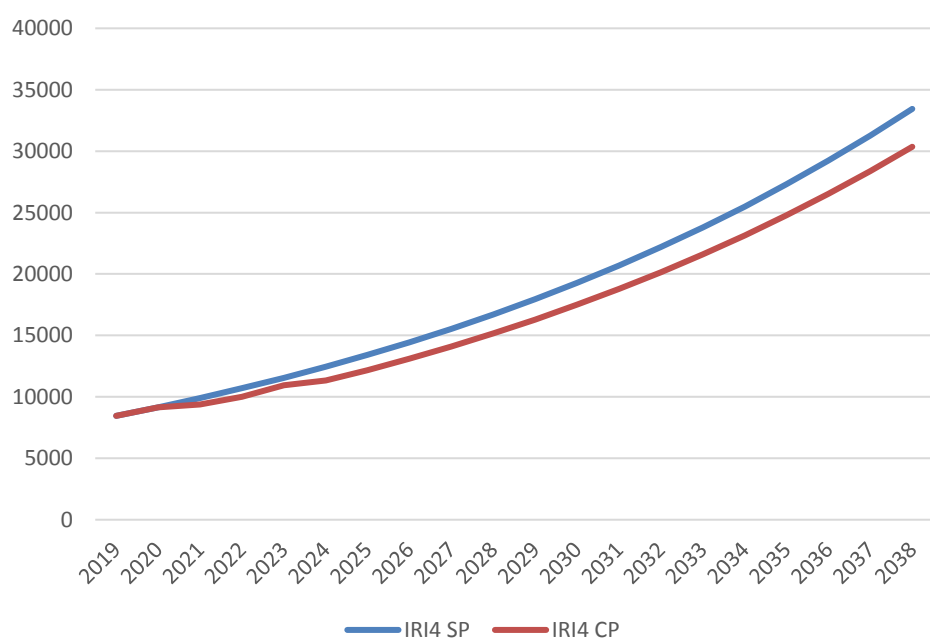
Para cada tipo de vehículo se calculó la distancia que recorren en las diferentes superficies. A continuación se muestran los datos agregados.

Gráfico 17 – Millones de kilómetros recorridos en ruta con características IRI 2. Con y Sin Proyecto



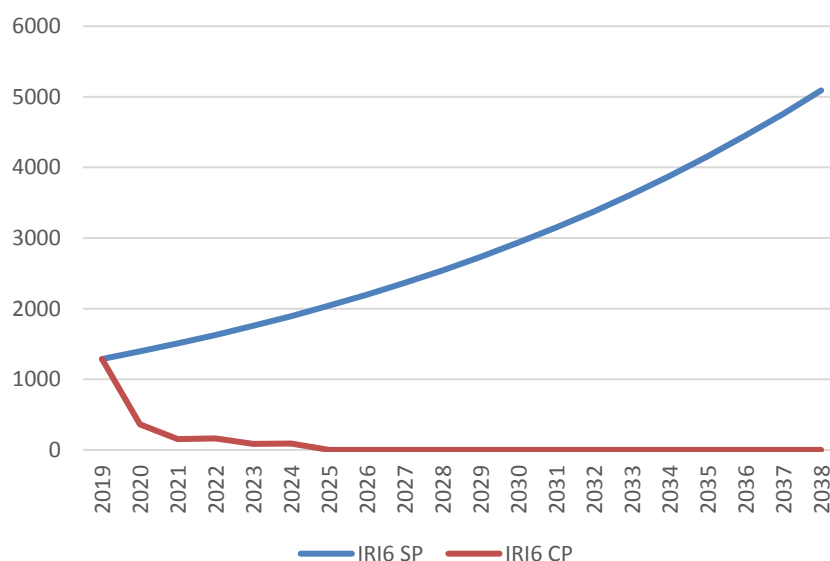
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 18 – Millones de kilómetros recorridos en ruta con características IRI 4. Con y Sin Proyecto



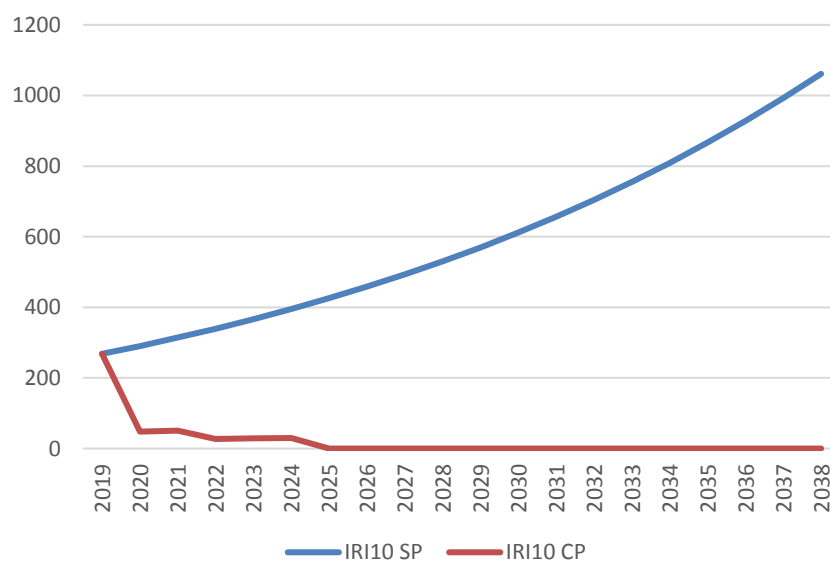
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 19 – Millones de kilómetros recorridos en ruta con características IRI 6. Con y Sin Proyecto



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 20 – Millones de kilómetros recorridos en ruta con características IRI 10. Con y Sin Proyecto



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, haciendo uso de los costos operativos computados por el Banco Mundial en el Programa Red en base a modelo HDMIII y Modelo RED para tipo de vías Onduladas (Y) y Ripio (B). A continuación se detallan los costos unitarios por km.

**Tabla 30 – Costos operativos por KM**

IRI	Liviano	Bus	Camión Liviano	Camión Pesado
2	0.13	0.21	0.24	0.47
4	0.14	0.22	0.25	0.49
6	0.15	0.24	0.28	0.54
8	0.17	0.27	0.31	0.61
10	0.20	0.32	0.36	0.71
12	0.22	0.36	0.41	0.81

Fuente: Elaboración propia.

En total, si la política es efectiva al momento de realizar los controles y mantenimiento de los ejes viales, la economía boliviana, podrá ahorrarse en Valor Neto Actual aproximadamente U\$D 1509 millones. En la siguiente tabla se pueden ver los flujos de recursos generados por ésta implementación.

**Tabla 31 – Valor actual de los costos operativos totales de la red por tipo de vehículo y año. Situación Sin Proyecto en MM USD**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Automóviles Livianos	2489	2427	2361	2295	2229	2163	2103	2038	1973	1909	1845	1787	1725	1664	1604	1546	1491	1435	1380	1326
Buses	1434	1265	1113	979	860	755	665	583	510	447	391	342	299	261	228	198	173	151	131	114
Camiones Livianos	2942	2906	2868	2827	2783	2738	2690	2640	2589	2536	2482	2426	2370	2313	2255	2197	2139	2080	2022	1963
Camiones Pesados	7016	6931	6839	6741	6637	6528	6414	6296	6173	6047	5918	5786	5652	5516	5378	5240	5100	4961	4821	4682
<b>Total</b>	<b>13881</b>	<b>13529</b>	<b>13181</b>	<b>12842</b>	<b>12510</b>	<b>12184</b>	<b>11871</b>	<b>11556</b>	<b>11245</b>	<b>10938</b>	<b>10635</b>	<b>10341</b>	<b>10046</b>	<b>9754</b>	<b>9466</b>	<b>9181</b>	<b>8904</b>	<b>8627</b>	<b>8354</b>	<b>8085</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 32 – Valor actual de los costos operativos totales de la red por tipo de vehículo y año. Situación Con Proyecto en MM USD**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Automóviles Livianos	2489	2421	2351	2282	2213	2144	2085	2020	1956	1892	1829	1771	1710	1650	1591	1532	1478	1422	1368	1315
Buses	1434	1263	1111	976	858	753	662	581	509	445	389	341	298	260	227	198	173	150	131	114
Camiones Livianos	2942	2895	2850	2804	2755	2705	2658	2609	2558	2506	2452	2397	2342	2285	2228	2171	2113	2055	1998	1940
Camiones Pesados	7016	6913	6815	6711	6603	6488	6377	6259	6137	6012	5883	5752	5619	5484	5347	5209	5071	4932	4793	4654
<b>Total</b>	<b>13881</b>	<b>13491</b>	<b>13127</b>	<b>12773</b>	<b>12428</b>	<b>12090</b>	<b>11782</b>	<b>11468</b>	<b>11159</b>	<b>10855</b>	<b>10554</b>	<b>10262</b>	<b>9969</b>	<b>9679</b>	<b>9393</b>	<b>9110</b>	<b>8835</b>	<b>8560</b>	<b>8289</b>	<b>8023</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 33 – Costos operativos por KM**

MmU\$D	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Ahorro	0	95	123	139	155	174	199	215	232	251	271	292	314	339	364	392	421	452	486	521
TDD	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9
VA	0	85	98	99	98	98	101	97	94	90	87	84	81	78	75	72	69	66	63	60

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.3.4.3. Ahorros de tiempo

Otro beneficio social a considerar es el ahorro de tiempo que se genera al permitir velocidades mayores de los vehículos que hacen uso de la red vial debido a su mejor estado de conservación. El ahorro de tiempo calculado se basa en el supuesto de que al desenvolverse en carreteras en mejor estado los vehículos pueden en promedio circular a mayor velocidad que la correspondiente a una carretera en mal estado.

Finalmente, para el cómputo de ahorros de tiempo se desarrolla una metodología similar a la anterior pero una vez que se tienen los kilómetros recorridos, se estiman los ahorros de tiempo en base a las velocidades de circulación para cada uno de los tipos de ruta según cada vehículo. La mejora de una red de carreteras incluye una variedad de intervenciones: el mejoramiento sin pavimentar de un camino con calzada natural; la pavimentación de calzada de un camino con calzada natural o enripiada; la reconstrucción de una calzada dañada por el paso del tránsito y del tiempo sin las labores de mantenimiento necesarias; la ampliación de calzada con o sin agregado de carriles de circulación en carreteras pavimentadas congestionadas; la reconstrucción o relocalización de una calzada en terreno montañoso para disminuir la gradiente y/o la curvatura; etc.

A continuación se pueden ver los supuestos de velocidad utilizados.

**Tabla 34 – Valor actual de los beneficios de la disminución de costos operativos. En MM USD**

IRI	Liviano	Bus	Camión Liviano	Camión Pesado
2	70.58	59.29	60.15	46.40
4	70.08	58.87	59.72	46.07
6	68.69	57.70	58.54	45.16
8	65.95	55.40	56.21	43.36
10	61.89	51.99	52.74	40.69
12	57.03	47.91	48.60	37.49

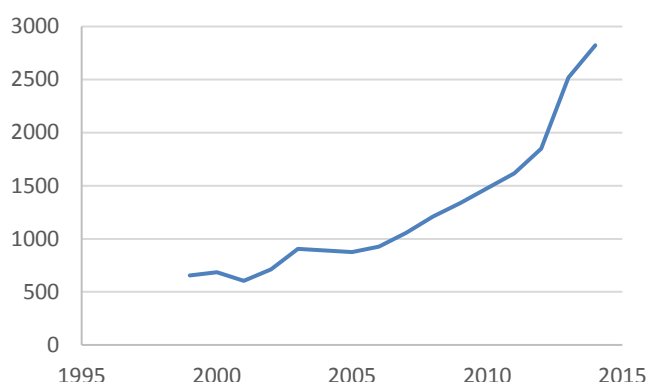
Fuente: Elaboración propia.

A partir de la cantidad de kilómetros circulados por estado de la red -ya calculados para los costos operativos-, se estimó el ahorro de tiempo ocasionado por aquellos kilómetros que dejan de recorrerse en carreteras en mal estado para ser recorridos en una en buen estado (y consecuentemente a una velocidad promedio mayor).

Para contabilizar ese ahorro monetariamente se estimó el valor del tiempo en el país partiendo de la serie de ingreso promedio mensual por rama de actividad del país entre 1999 y 2014 dato publicado por el INE<sup>25</sup>. En el año 2014 el ingreso promedio mensual nacional fue de 395 USD (2823 Bs), equivalente a 2,25 USD/hora.

<sup>25</sup> encuestas de mejoramiento de condiciones de vida (MECOVI 1999 - 2002), encuesta continua de hogares 2003 - 2004, encuesta de hogares 2005 - 2014

Gráfico 21 – Evolución de salario promedio. Bs constantes



Fuente: Elaboración propia en base al INE.

Considerando que la valorización del tiempo de viaje depende del motivo del desplazamiento, siendo los desplazamientos laborales de mayor valor que los que se realizan por motivos asociados al ocio. Asimismo los ahorros de tiempo presentan una amplia sensibilidad a la valorización del tiempo, por lo cual se toman hipótesis fundadas pero conservadoras ya que un supuesto optimista puede generar un elevado efecto en la evaluación.

El motivo del viaje en la red vial principal se puede considerar asociado principalmente a motivos profesionales, es decir transporte de carga o chofer de vehículos de pasajeros o por motivos asociados al ocio. En el caso de los desplazamientos de profesionales, el ahorro de tiempo está asociado al ahorro en el costo operativo, por lo cual se considera que el motivo de los desplazamientos es principalmente por ocio. En función de lo expresado se estima que el valor horario del tiempo es un tercio del valor horario del ingreso promedio por persona, por lo cual se arribó a un valor horario de 0,75 U\$D. Este supuesto se sustenta adicionalmente en experiencia internacional y bibliografía específica como el estudio South America Value of Time Research <sup>26</sup> publicado en el Manual de Evaluación Económica de proyectos de transporte del BID27, donde se indica que en países como Brasil, Chile o Venezuela se utiliza un 33% del valor del salario horario como valor del tiempo por ocio y en Ecuador es 36% del mismo para desplazamientos con motivo trabajo.

Tabla 35. Estimación del Valor del tiempo en América Latina

País	Automovil (tiempo en el Veh.)	
	Trabajo	Ocio
Argentina	6-9\$/h	-
Brasil	Salario	33% del Salario
Chile	Salario	33%-46% del Salario
Ecuador	36% del Salario	0
Venezuela	Salario	25%-33% del Salario

<sup>26</sup> Ortúzar, J. de D (1999). "South America Value of Time Research", en Gunn, H. (ed.). *The Value of Time*. PTRC Education and Research Services Ltd. Londres.

<sup>27</sup> De Rus, G. Betancor, O y Campos, J (2006). Manual de Evaluación Económica de proyectos de transporte, Banco Interamericano de Desarrollo.



Fuente: Ortúzar, 1999<sup>28</sup>

Haciendo uso de estos datos se arribó al beneficio social por el ahorro de tiempo. En la tabla a continuación se pueden ver los ahorros en tiempo como resultado del incremento en velocidad que se produce al mejorar la calidad de las vías.

---

<sup>28</sup> Ortúzar, J. de D (1999). "South America Value of Time Research", en Gunn, H. (ed.). *The Value of Time*. PTRC Education and Research Services Ltd. Londres.

Tabla 36 – Beneficios sociales por ahorros de tiempo

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Ahorro Millones Hs	0.0	0.6	1.2	1.8	2.6	3.0	5.5	6.2	6.8	7.6	8.4	9.3	10.3	11.4	12.7	14.0	15.5	17.2	19.0	21.0
VDT	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5
<b>MMU\$D</b>	<b>0.0</b>	<b>0.5</b>	<b>1.0</b>	<b>1.6</b>	<b>2.3</b>	<b>2.8</b>	<b>5.4</b>	<b>6.2</b>	<b>7.1</b>	<b>8.1</b>	<b>9.3</b>	<b>10.7</b>	<b>12.3</b>	<b>14.1</b>	<b>16.2</b>	<b>18.5</b>	<b>21.2</b>	<b>24.3</b>	<b>27.9</b>	<b>31.9</b>
TDD	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.5	3.9	4.4	4.9	5.5	6.1	6.9	7.7	8.6
VA	0.0	0.5	0.8	1.1	1.5	1.6	2.7	2.8	2.9	2.9	3.0	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.7
<b>VAN</b>	<b>50.2</b>																			

Fuente: Elaboración propia.

## **2.4. Programa de mantenimiento de aeropuertos**

Una de las políticas integrantes del Programa es confeccionar programas de gestión del mantenimiento sostenible del área de movimiento de aeronaves en aeropuertos. El objetivo es mantener una adecuada preservación de patrimonio, a fin de mejorar el estado y prolongar la vida útil de la infraestructura aeroportuaria. Un mejor y más efectivo mantenimiento significa operaciones aeroportuarias más seguras y mayor previsibilidad.

Asegurar y mantener la operatividad de los aeropuertos dentro de los parámetros internacionales de seguridad aeronáutica es condición necesaria para que los mismos se mantengan en operación. La falta de mantenimiento y la consecuente degradación de la infraestructura y de las condiciones de operación pueden llevar al cierre de los aeropuertos por no presentar las condiciones de seguridad mínimas requeridas para el aterrizaje y despegue.

El mantenimiento preventivo, a diferencia del reactivo, disminuye sensiblemente las posibilidades de que un aeropuerto deba dejar de operar por problemas ocasionados por el natural desgaste de su infraestructura. Este tipo de mantenimiento permite extender la vida útil de la infraestructura, prolongando los períodos entre una repavimentación/rehabilitación y la siguiente, actividades que requieren mantener durante un cierto tiempo el aeropuerto cerrado. Cuando, por el contrario, no se realiza un adecuado mantenimiento, estas acciones deben realizarse con mayor periodicidad y sin programación.

Tomando esto en cuenta, se calcularon los costos asociados al riesgo de cierre para cada escenario en base a las características década tipo de mantenimiento (el actual y el propuesto por la política).

- **Mejoras en el mantenimiento de aeropuertos**
  - ✓ 3.19 Aprobación del Plan de inversión para mantenimiento de aeropuertos.

### **2.4.1. Hipótesis y consideraciones para la evaluación**

Los distintos tipos de superficies presentan tareas de mantenimiento diferentes, por lo cual tienen distintas estructuras de costos y distintos lapsos de tiempo entre las tareas, los cuales fueron propiamente estimados. Hipótesis y consideraciones para la evaluación

A continuación se presentan las hipótesis consideradas para la estimación de costos y beneficios relativas al programa de mantenimiento de aeropuertos:

- Debido al desconocimiento del estado actual de las pistas de los aeropuertos se toma como hipótesis conservadora que el estado de las pistas al año 2019 es óptimo. En caso de encontrarse en peor estado en la situación actual, las obras y costos asociados al mantenimiento reactivo (SP) se deberían realizar con anterioridad aumentando los costos de la situación SP.
- Las infraestructuras están diseñadas para una vida útil de 20 años como mínimo.
- En la situación SP no se realizan tareas de mantenimiento hasta que la infraestructura pierde su condición estructural o funcional (mantenimiento reactivo).

- No se evalúan los riesgos ocasionados por las condiciones de las pistas sin un mantenimiento preventivo, ya que se supone que las tareas de mantenimiento reactivo se realizarán previo a que se ponga en riesgo la seguridad de las aeronaves.
- Durante el cierre del aeropuerto por tareas de mantenimiento o rehabilitación los pasajeros continuarán realizando el viaje, escogiendo como alternativa el aeropuerto más cercano y vinculando los mismos por vía terrestre.

Para evaluar económicamente la puesta en marcha del programa de mantenimiento en aeropuertos se consideran los costos y beneficios que surgen del análisis comparativo entre la situación con la aplicación del programa de mantenimiento (Con Proyecto) y la situación actual (Sin Proyecto).

Los costos en la situación Con Proyecto son los necesarios para la realización e implementación del programa, en tanto los beneficios serán los producidos por dos motivos:

- Diferencial por costo de mantenimiento. La aplicación del programa producirá un mantenimiento preventivo que permite extender la vida útil de las infraestructuras y con intervenciones menores periódicas se evitan intervenciones mayores de refuncionalización.
- Diferencial por afectaciones al funcionamiento del aeropuerto. Las tareas de mantenimiento serán de características diferentes en los dos escenarios, demandando mayores plazos de trabajo para el caso de ausencia de un mantenimiento preventivo.

#### **2.4.2. Caracterización de los aeropuertos**

Con el fin de poder evaluar correctamente el costo de mantenimiento de los aeropuertos es importante hacer primero una caracterización de los mismos analizando las variables Tipo de pavimento, Cantidad y Dimensiones de pista, Cantidad de vuelos diarios y Categoría del aeropuerto.

**Tabla 37 - Aeropuertos AASANA**

Aeropuerto	Categoría	Pavimento	Largo (m)	Ancho (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Vuelos 2012
Apolo	4	Otro	1.500	30	45.000	1
Ascensión	4	Otro	1.390	30	41.700	992
Bermejo	2	Asfalto	1.500	36	54.000	54
Camiri	4	Otro	1.200	30	36.000	76
Cobija	2	Otro	2.000	30	60.000	2.443
Concepción	4	Otro	1.740	30	52.200	388
Copacabana	4	Otro	870	30	26.100	4
Guayaramerin	2	Otro	1.810	30	54.300	1.491
Magdalena	4	Otro	1.400	50	70.000	1.302
Monteagudo	3	Otro	2.000	30	60.000	45
Oruro	2	Asfalto	2.460	23	56.580	66
		Otro	1.870	37	69.190	
Puerto Suarez	2	Asfalto	2.000	35	70.000	2.560
Potosí	2	Asfalto	2.830	30	84.900	56
Reyes	4	Otro	930	30	27.900	292
Riberalta	2	Asfalto	1.750	20	35.000	4.310
Robore	4	Otro	1.200	30	36.000	367
Rurrenabaque	3	Otro	1.960	40	78.400	1.916
San Ignacio Moxos	4	Otro	1.900	30	57.000	312
San Ignacio Velasco	4	Otro	1.200	40	48.000	574
San Borja	3	Otro	1.800	30	54.000	2.254
San Javier	4	Otro	1.590	30	47.700	85
San Joaquín	3	Otro	1.100	30	33.000	872
San José Chiquitos	4	Otro	1.060	30	31.800	265
San Matías	4	Otro	1.730	30	51.900	850
San Ramón	4	Otro	1.800	30	54.000	75
Santa Ana	2	Asfalto	1.520	20	30.400	8.585
Santa Rosa	4	Otro	1.700	30	51.000	813
Sucre	2	Hormigón	2.870	30	86.100	3.240
Tarija	2	Asfalto	3.050	45	137.250	2.988
Trinidad	2	Asfalto	2.400	30	72.000	26.305
Trompillo	2	Asfalto	2.770	40	110.800	32.183
Uyuni	2	Asfalto	4.000	45	180.000	695
Vallegrande	4	Otro	1.120	30	33.600	16
Villamontes	2	Asfalto	1.500	35	52.500	12.270
Yacuiba	2	Asfalto	2.100	35	73.500	1.387

Fuente: Elaboración propia en base a datos de AASANA.

Los diferentes materiales del pavimento determinan el tipo y costo de mantenimiento. Las pistas cuya superficie es de ripio, tierra compactada, grava o tratamiento superficial doble, fueron agrupadas como OTRO en la categoría pavimento. Pese a que en rigor estos materiales necesitan diferentes mantenimientos, los mismos se pueden considerar para la presente evaluación como de igual periodicidad y costos.

### 2.4.3. Costos

#### 2.4.3.1. Costo de realización del programa de mantenimiento

La definición de aspectos técnicos, logísticos y establecimiento de estándares para la ejecución del mantenimiento de los aeropuertos debe definirse en un trabajo conjunto de las autoridades locales con especialistas incluyendo los siguientes puntos:

- **Sistemas de drenaje**  
Inspección y mantenimiento de los sistemas de drenaje de acuerdo a lo establecido en el Manual de Servicios del Aeropuerto DOC 9137 de la OACI, Parte 9, Prácticas de Mantenimiento del Aeropuerto, Capitulo 5, Drenaje.
- **Áreas pavimentadas del lado aire**  
Inspección y mantenimiento preventivo y correctivo de las áreas pavimentadas del lado aire para asegurar condiciones operacionales seguras. Para lo cual se deberá cumplir con lo establecido por la OACI en el DOC 9137 Manual de Servicios del Aeropuerto, Parte 2, Condiciones de la Superficie de Pavimento y Parte 9, Métodos de Mantenimiento del Aeropuerto.
- **Áreas no pavimentadas**  
Inspección y mantenimiento preventivo y correctivo de las áreas no pavimentadas para asegurar condiciones operacionales seguras. Para lo cual se deberá cumplir con lo establecido por la OACI en el *DOC 9137 Manual de Servicios del Aeropuerto, Parte 9, Prácticas de Mantenimiento del Aeropuerto, Capitulo 6, Mantenimiento de Áreas no Pavimentadas*.

Se estima que el costo a precios sombra para la realización de este programa es de 97.541 USD. Considerando la contratación de profesionales especialistas, capacitación, edición e impresión del programa.

**Tabla 38. Estimación de costo de realización del programa de mantenimiento de aeropuertos**

	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	SALARIO MENSUAL(BOB)	SALARIO MENSUAL NETO (USD) (1)	MESES-HOMBRE	TOTAL
<b>Jefe Unidad</b>	<b>1</b>		13.900	2.014	8	16.112 USD
<b>Especialista Prof. Administrativo</b>	<b>3</b>		10.700	1.550	24	37.208 USD
<b>Técnico</b>	<b>2</b>		4.020	250	16	4.007 USD
<b>Pasajes</b>	<b>3</b>		5.850	364	24	8.747 USD
<b>Pasajes</b>	<b>20</b>	100 USD				2.000 USD
<b>Viáticos</b>	<b>80</b>	70				5.600 USD
<b>Equipos e Instalaciones</b>	<b>1</b>	15000				15.000 USD
<b>Gastos Generales</b>	<b>1</b>	10%				8.867 USD
<b>TOTAL</b>						<b>97.541 USD</b>

Total MM USD

0,10

(1) Salario a precios sombras

USD - BOB 6,9

Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.3.2. Costo de implementación del programa de mantenimiento

La definición del programa de mantenimiento determinará la estructura y las acciones necesarias para implementar el mismo. El mantenimiento preventivo requiere una evaluación constante de la infraestructura para poder actuar de manera eficaz, por lo cual se estima la necesidad de complementar las estructuras administrativas y técnicas actuales con un equipo que haga seguimiento constante de los aeropuertos, realice tareas menores de mantenimiento y ejecute de manera eficiente la contratación de las actividades necesarias para el cumplimiento del programa.

Se estima un equipo conformado por un gerente, un profesional experto en infraestructura aeroportuaria, tres técnicos, tres operarios y tres administrativos. El costo de implementación incluye los sueldos del personal, viáticos y pasajes para realizar las inspecciones. Estimando un costo anual de implementación de 161.441 USD.

**Tabla 39. Estimación de costos de implementación del programa de mantenimiento de aeropuertos**

	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	SALARIO MENSUAL(BOB)	SALARIO MENSUAL NETO (USD) (1)	MESES- HOMBRE	TOTAL
<i>Jefe Unidad</i>	1		13.900	2.014	12	24.168 USD
<i>Especialista Prof.</i>	1		10.700	1.550	12	18.604 USD
<i>Administrativo</i>	3		4.020	250	36	9.016 USD
<i>Técnico</i>	3		5.850	364	36	13.121 USD
<i>Operario</i>	3		2.700	168	36	6.056 USD
<i>Pasajes</i>	60	100 USD				6.000 USD
<i>Viáticos</i>	240	70				16.800 USD
<i>Equipos e Instalaciones</i>	1	53000				53.000 USD
<i>Gastos Generales</i>	1	10%				14.676 USD

**TOTAL**

**161.441 USD**

Total MM USD

0,16

**USD - BOB**

**6,9**

(1) Salario a precios sombras

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40 – Costos sociales por elaboración e implementación de política aeroportuaria. Valor corriente

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
COSTO REALIZACION PROGRAMA	97,541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COSTO IMPLEMENTACION PROGRAMA	0	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441	161,441
<b>Total MMUSD</b>	<b>97,541</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>	<b>161,441</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41 – Costos sociales por elaboración e implementación programa de mantenimiento de aeropuertos. Valor presente

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
COSTO REALIZACION PROGRAMA	97,541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COSTO IMPLEMENTACION PROGRAMA	0	143,287	127,174	112,873	100,180	88,914	78,916	70,042	62,165	55,175	48,970	43,463	38,576	34,238	30,388	26,971	23,938	21,246	18,857	16,736
<b>Total MMUSD</b>	<b>97,541</b>	<b>127,935</b>	<b>101,382</b>	<b>80,341</b>	<b>63,666</b>	<b>50,452</b>	<b>39,981</b>	<b>31,683</b>	<b>25,107</b>	<b>19,897</b>	<b>15,767</b>	<b>12,495</b>	<b>9,901</b>	<b>7,846</b>	<b>6,218</b>	<b>4,928</b>	<b>3,905</b>	<b>3,094</b>	<b>2,452</b>	<b>1,943</b>
<b>Van</b>	<b>706,536</b>																			

Fuente: Elaboración propia.



#### **2.4.4. Beneficios**

##### **2.4.4.1. Diferencial de Costos de Mantenimiento<sup>29</sup>**

Se analizará el costo de mantenimiento en dos escenarios: por un lado los costos asociados con la implementación de la política de llevar adelante un programa de mantenimiento y por otro los costos incurridos al realizar mantenimientos correctivos, es decir, una vez detectadas fallas que impidan el cumplimiento de las funciones asignadas a la infraestructura.

##### Mantenimiento preventivo – CP

La totalidad de estas tareas se agruparon relacionándose con el tipo y superficie de la pista.

##### **A. Pavimento Asfáltico**

El programa de mantenimiento debe buscar mantener la condición estructural y funcional. Algunas de las tareas a desarrollar son: bacheo, riego, limpieza, remoción de agentes contaminantes, entre otras. Dentro de los aeropuertos bajo jurisdicción de AASANA 12 pistas son de asfalto, sumando un total de 963.986 m<sup>2</sup>. Se analizaron costos de mantenimiento de aeropuertos con pistas asfálticas en ciudades de España donde el mantenimiento se realiza de manera integral mediante un contrato de mantenimiento plurianual <sup>30</sup>. Estos costos analizados fueron afectados por un coeficiente de ajuste que busca incluir la diferencia de costos entre España y Bolivia que se puede reflejar en un salario mínimo 3,5 veces mayor en España y la importante diferencia entre los aeropuertos de los cuales se posee información de costos de mantenimiento preventivo y los aeropuertos de Bolivia.

---

<sup>29</sup> Para la estimación de los costos de mantenimiento de cada material y en los dos escenarios se usaron datos provenientes de pavimentaciones de aeropuertos, contratos de mantenimientos de aeropuertos y obras viales de características similares. Estas fuentes fueron ajustadas y contrastadas con datos propios de la experiencia profesional y ajustados acorde a las características de los trabajos analizados. A continuación se detallan las fuentes utilizadas:

Análisis de Costos del Nuevo Aeropuerto de Quito. Informe Final. (ACyA 2006)

Conservación de Aeropuerto:

-Aeropuerto de Madrid-Barajas (años 2006 – 2009)

-Aeropuerto del Prat-Barcelona (años 2009-2013)

-Aeropuerto de Palma de Mallorca (años 2009-2012)

Obras de pavimentación aeroportuaria:

-Repavimentación de la pista sur y calles de rodaje en Bogotá – El Dorado

-Renovación eje pista de vuelo Madrid-Barajas

Obras viales varias ([http://www.abc.gob.bo/IMG/pdf/PAC\\_2013.pdf](http://www.abc.gob.bo/IMG/pdf/PAC_2013.pdf))

Licitación Pública N° 34/2013 - Ejecución Obra Ruta Provincial N° 25, tramo: RN A012 - Autopista Rosario - Santa Fe

AP01 (reparación pavimento de Hormigón)

Estabilizado granular ([http://www.avellaneda.gov.ar/obraspublicas/obras\\_publicas.php?id=5](http://www.avellaneda.gov.ar/obraspublicas/obras_publicas.php?id=5))

<sup>30</sup> <http://www.saglas.com/aeropuertos/>

**Tabla 42. Estimación de costos de mantenimiento anual para aeropuertos con pistas de pavimento asfáltico**

AEROPUERTO	CIUDAD	COSTO DE MANTENIMIENTO POR AÑO POR M <sup>2</sup> DE PISTA (EUROS)	COSTO DE MANTENIMIENTO POR AÑO POR M <sup>2</sup> DE PISTA (DOLAR)	
BARAJAS	MADRID	7	9	
EL PRAT	BARCELONA	7	9	
SON SANT JOAN	PALMA DE MALLORCA	2	3	
		COSTO MEDIO EN AEROPUERTOS DE ESPAÑA	6,6	USD/M <sup>2</sup> DE PISTA/AÑO
		COEF AJUSTE	0,25	
			<b>1,65</b>	USD/M <sup>2</sup> DE PISTA/AÑO

Fuente: Elaboración propia.

Por lo cual el costo anual de mantenimiento de aeropuertos con pistas de pavimento asfáltico se estimó en 1,65 USD por m<sup>2</sup> de pista.

#### B. Pavimento Hormigón

Dentro de los aeropuertos bajo jurisdicción de AASANA una sola pista es de hormigón, con un área total de 85.876 m<sup>2</sup>. Para las pistas de Hormigón las tareas de mantenimiento preventivo son de menor cuantía debido a las características del material, pero las tareas de mantenimiento de los puntos indicados anteriormente son similares. Algunas de las tareas específicas para el mantenimiento de la pista de hormigón incluyen sellado de juntas y fisuras y ocasionalmente cepillado (diamond grinding). Considerando estudios de costos locales se estima un valor de 3 dólares por metro lineal de sellado de juntas o fisuras y se estima la necesidad de realizar esta actividad en 0,3 metros lineales por año por cada metro cuadrado de losa de hormigón, buscando así mantener impermeabilizada la base del pavimento evitando efectos de bombeo.

**Tabla 43. Estimación de costos de mantenimiento anual para aeropuertos con pistas de hormigón**

	m lineales de junta por m <sup>2</sup> de losa de hormigón a sellar por año	COSTO m LINEAL DE JUNTA (USD)	COSTO DE MANTENIMIENTO POR AÑO POR M <sup>2</sup> DE PISTA (DOLAR)
SELLADO DE JUNTAS	0,3	3	<b>0,7</b>

Fuente: Elaboración propia.

Por lo cual, el costo anual de mantenimiento de aeropuertos con pistas de pavimento de hormigón se estimó en 0,7 USD por m<sup>2</sup> de pista.

#### C. Otras superficies

En el caso de pistas de grava, ripio, tierra compactada y tratamiento superficial doble las tareas de mantenimiento preventivo son variadas dependiendo de la superficie pudiendo incluir: reperfilado, riego asfáltico, limpieza, compactación, entre otras.

Estas superficies conforman la mayor parte de los aeropuertos bajo jurisdicción de AASANA (23 pistas que totalizan 1.118.547 m<sup>2</sup>).

El agrupamiento de diversos tipos de superficies implica una diversidad de tareas de mantenimiento por lo cual se imposibilita estimar el costo en función de tareas a realizar. La estimación de costo de mantenimiento se hizo considerando el costo de construcción sobre el cual se aplicó una relación costo de mantenimiento anual/costo de obra igual a 0,02, en el caso del pavimento de Hº este valor es de 0,013 y en el caso de pavimento asfáltico de 0,035. Obteniendo un costo de 0,18 US\$/ m<sup>2</sup> de pista.

**Tabla 44. Estimación de costos de mantenimiento anual para aeropuertos con pistas No Pavimentadas**

	COSTO DE CONSTRUCCIÓN (USD x m <sup>2</sup> )	COSTO ANUAL MANTENIMIENTO/COSTO CONSTRUCCIÓN	COSTO DE MANTENIMIENTO (USDx AÑO POR M <sup>2</sup> DE PISTA)
NO PAVIMENTADO	9	0,02	<b>0,18</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### Mantenimiento reactivo – SP

La falta de aplicación de un programa de mantenimiento preventivo ocasiona un mayor deterioro de la infraestructura, disminuyendo su vida útil y siendo necesarias mayores intervenciones cuando, por ejemplo, el pavimento de la pista pierde su condición funcional y estructural. Estas obras mayores generaran en algunos casos cierres y afectaciones a la operatividad del aeropuerto.

##### A. Pavimento Asfáltico

La falta de mantenimiento puede generar en el pavimento ahuellamiento, ondulaciones, depresiones, erosión por chorro de turbina y baches. La no ejecución de obras ante una inspección continua, genera que las fallas incrementen su severidad y deban resolverse mediante una rehabilitación integral de la pista. La vida útil de las pistas de asfalto sin mantenimiento depende de diversos factores, pero para el presente estudio se estimó que en promedio se deberá realizar una rehabilitación cada 8 años, y para poder mantener operativo el aeropuerto se deberán realizar tareas de bacheo en los años 5 y 13.

Del análisis de obras de rehabilitación de calzadas de pavimento asfáltico se obtuvo un costo 36 USD por m<sup>2</sup> de pista.

##### B. Pavimento Hormigón

El pavimento de hormigón tiene mayor durabilidad y requiere menor nivel de mantenimiento que un pavimento asfáltico, pero la falta de sellado de fisuras y juntas puede traer como consecuencia final la rotura de losas, por lo cual se considera que al no realizar ninguna tarea de mantenimiento preventivo en el año 5 se deberán realizar tareas de bacheo para mantener los niveles mínimos de seguridad y en el año 10 se deberán rehacer el 20% de las losas, en el año 15 un 30% y en el año 20 un 30% más.

El análisis de costos de reparación de pavimentos de hormigón arroja una estimación de 31 USD por m<sup>2</sup> de pista.

##### D. Otras superficies

Para las pistas que presentan otros pavimentos se estima un costo de 5,4 USD por m<sup>2</sup> de pista, valor estimado en función de distintas obras viales de características similares a las de estas pistas y ajustadas de acuerdo al funcionamiento y características de las mismas. Se considera que en los años 5 y 13 se realizarán tareas menores que permitan mantener los niveles mínimos de seguridad de la pista y en los años 8 y 16 se deberá realizar una rehabilitación del 40% de la pista.

#### 2.4.4.2. *Diferencial de costo adicional del viaje por cierre de aeropuerto*

En algunas ocasiones las tareas de mantenimiento producen la necesidad de interrumpir el funcionamiento del aeropuerto generando un costo adicional para la economía ya que durante el periodo en que se encuentra cerrado el aeropuerto los pasajeros deberán buscar una manera alternativa de viajar.

Se considera que durante el cierre del aeropuerto, los pasajeros seguirán viajando y pueden optar por cambiar el modo y realizar el viaje en bus o automóvil, pero también pueden optar por mantener el viaje en avión hacia un aeropuerto cercano y complementar el viaje por vía terrestre. De estas dos opciones se estima que los pasajeros seguirán realizando el viaje en avión y complementarlo por vía terrestre.

En este caso se toma como hipótesis que las compañías aéreas continuarán realizando los vuelos reemplazando su origen o destino al aeropuerto más cercano de condiciones similares o superiores al que se encuentra en obra. Por lo cual no se presentan diferencias de costos en el momento del cierre. Al modificar alguno de los puntos del vuelo, es probable que se modifique la distancia y el tiempo de vuelo. Sin embargo, esta diferencia puede ser positiva o negativa, dependiendo de la ubicación del aeropuerto 'suplente'. Al no poseer el itinerario de los vuelos, es imposible determinar cuáles vuelos verían aumentado su costo operativo al cerrar el aeropuerto original y cuáles disminuidos. Lo más prudente entonces es suponer que los aumentos y disminuciones en distancias y tiempos de vuelo se compensan, quedando un costo nulo.

Sin embargo, se pueden identificar tres costos adicionales debido al cierre temporal de un aeropuerto y desvío de vuelos:

- Costo de operación del viaje terrestre adicional: se estimó una distancia media entre aeropuertos de igual o superior categoría de 340km. Por lo cual, los pasajeros deberían recorrer -dado el cierre del aeropuerto que formaba parte de su itinerario original- esta distancia generando un costo adicional de 39 USD por pasajero considerando que el 70% de los afectados se desplazaran en bus hacia el nuevo aeropuerto de partida y el 30% en automóvil.
- Costo del tiempo del viaje terrestre adicional: el estado de la red vial, las pendientes y ondulaciones impiden circular a elevadas velocidades, por cual se considera una velocidad media de 60Km/h durante el recorrido. Por lo tanto el viaje complementario entre el aeropuerto al cual se debieron desviar los vuelos y la ciudad original de origen o destino del vuelo insumiría 5,7 horas. Considerando el valor de tiempo estimado en el apartado anterior, el costo del tiempo de viaje de cada pasajero será de 4 USD.

- Costo por colisiones producidas por el viaje terrestre adicional: los nuevos desplazamientos terrestres que se deban realizar por el cierre de aeropuertos generará un riesgo de colisión con los costos materiales y sociales asociados. Debido a que la cantidad de desplazamientos y su riesgo asociado generan un costo de baja cuantía no se cuantifican en la presente evaluación, considerando que los mismos son beneficiosos en la implementación del programa de mantenimiento, esta hipótesis se presenta como conservadora.

#### Costo adicional del viaje por cierre de aeropuerto CP

Al realizar un mantenimiento preventivo, las obras necesarias son de menor envergadura y son factibles de realizar buena parte de las mismas en las ventanas de tiempo que se producen en la operación del aeropuerto sin afectar su funcionamiento.

Se estima que cada 10 años se deberán realizar tareas mayores debiendo cerrar el aeropuerto durante dos días.

#### Costo adicional del viaje por cierre de aeropuerto SP

Al no desarrollar un mantenimiento preventivo, las tareas de rehabilitación de pavimento son trabajos que llevan mayor cantidad de tiempo en su ejecución y habitualmente con mayor urgencia, lo cual impide una programación de las obras para la menor afectación de las operaciones aeroportuarias.

El tipo y duración de las obras depende principalmente del tipo de superficie de la pista. Para la pista de hormigón, se estima que cuando se debe realizar una rehabilitación de losas el aeropuerto deberá permanecer inactivo por 1 mes, debido a que la losa defectuosa deberá ser demolida y se volverá a “hormigonar”.

En el caso de los pavimentos asfálticos el tiempo estimado de cierre durante la rehabilitación es de 3 días, debido a que el tiempo necesario para que el pavimento asfáltico cumpla con sus condiciones estructurales y funcionales es de solo 1 día. Para los aeropuertos con otro tipo de pavimento se estimó un cierre de 3 o 5 días dependiendo la demanda del mismo para realizar las tareas de rehabilitación.

En el siguiente cuadro se muestra el valor actual de los costos totales para cada escenario, incluyendo costos sociales por cierre de aeropuertos y costos de mantenimiento y rehabilitación. El ahorro de costos por pasar del escenario SP al CP representa los beneficios de esta política.

**Tabla 45 - Valor corriente de los costos por cierre de aeropuertos, mantenimiento y rehabilitación. En MM USD**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
SP	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	38.6	0.0	5.8	0.0	0.0	4.1	0.0	9.1	40.3	0.0	0.0	0.0	13.7
CP	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.6	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	3.8
Ahorro	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	2.5	-1.9	-1.9	36.8	-1.9	3.2	-1.9	-1.9	2.2	-1.9	7.2	38.4	-1.9	-1.9	-1.9	9.9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46 - Valor actual de los costos por cierre de aeropuertos, mantenimiento y rehabilitación. En MM USD

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Ahorro	-1.9	-1.6	-1.5	-1.3	1.5	-1.0	-0.9	15.9	-0.7	1.1	-0.6	-0.5	0.5	-0.4	1.4	6.4	-0.3	-0.2	-0.2	1.0
<b>VAN</b>	<b>13.7</b>																			

Fuente: Elaboración propia

### 3. RESULTADOS

Una vez cuantificados los costos y beneficios de las políticas evaluables del programa de reformas, se realizó un flujo de fondos para determinar la conveniencia de este paquete de medidas para la economía boliviana.

La tasa de descuento adoptada fue de 12%, a partir de la cual se calculó el valor presente de cada ítem.

Tabla 47 - Valor actual de los costos del Programa

Costos	MMU\$D	%
Desarrollo de la normativa de importación de vehículos	\$ 0.03	0.0%
Implantación control de importaciones de vehículos	\$ 1.26	0.0%
Aumento costos importación de vehículos	\$ 846.85	29.7%
Plan Nacional de Seguridad Vial	\$ 11.42	0.4%
Elaboración Manual de prevención de accidentes	\$ 0.24	0.0%
Intervenciones de seguridad vial- puntos negros	\$ 394.38	13.8%
Inventario vial calificado actualizado	\$ 3.88	0.1%
Sistema de registro y clasificación de conteos	\$ 10.50	0.4%
Pesos por eje: Instalación de balanzas	\$ 0.88	0.0%
Pesos por eje: Mantenimiento y control	\$ 3.49	0.1%
Rehabilitación Vial	\$ 1,572.85	55.2%
Desarrollo e implementación programa de mantenimiento aeroportuario	\$ 1.74	0.1%
<b>Valor actual Costos</b>	<b>2847.51</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48 - Valor actual de los beneficios del Programa

Beneficios	MMU\$D	%
Reducción de la contaminación por importación de vehículos	\$ 112.02	2.7%
Disminución de la accidentalidad	\$ 2,007.44	47.9%
Menores costos por aumento en la eficiencia del mantenimiento vial y control de pesos	\$ 414.32	9.9%
Menores costos operativos por mejor estado de las carreteras	\$ 1,594.54	38.0%
Ahorros de tiempo	\$ 50.24	1.2%
Menos días con aeropuertos cerrados por rehabilitación	\$ 1.35	0.0%
Diferencial Costos Mantenimiento Aeropuertos	\$ 12.33	0.3%
<b>Valor actual Beneficios</b>	<b>4192.24</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Con estos montos se calculó el valor actual neto (VAN) del Programa, como diferencia del valor actual de los beneficios y los costos. El mismo alcanza un valor de 1,344.73 MMUSD y la relación Beneficio/Costo de 1,63.

Por otro lado, el flujo de fondos permite calcular la tasa interna de retorno (TIR) del Programa a partir de la diferencia entre beneficios y costos de cada año. La misma arroja un valor de 19.6%, un monto que resulta alto en relación a valores de tasas internacionales.

Por último, a continuación se han evaluado los paquetes de políticas por separado para entender las aportes que cada una realiza al VAN, los costos y los beneficios. La reglamentación de las importaciones supone un aporte negativo al VAN y contribuye con el 30% de los costos. Los beneficios esperados de esta política en materia de ahorro en emisiones sólo genera 2.7% de los beneficios.

Tabla 49 – Resultados de la evaluación económica

Resultados de la Evaluación Económica		
Valor Actual Neto (VAN)	\$	1,344.73
Tasa Interna de Retorno (TIR)		19.6%
Beneficio / Costo	\$	1.47

Fuente: Elaboración propia.

El resto de las políticas generan beneficios para la economía en su conjunto y se detecta que la política aeroportuaria tiene muy pocos efectos tanto en los beneficios como en los costos. En este contexto, la política de seguridad vial y mantenimiento de la red principal generan 96,9% de los beneficios y aproximadamente 69,9% de los costos.

Tabla 50 – Resultados de la evaluación por política

Políticas evaluadas	VAN (MMUSD)	% Costos	% Beneficios	Beneficio / Costo
Reglamentación para internación de vehículos	\$ 736.12	29.8%	2.67%	0.13
Mejoras en la seguridad Vial	\$ 1,601.41	14.3%	47.88%	4.94
Mejoras en las condiciones de la red vial	\$ 467.50	55.89%	49.12%	1.29
Programa de mantenimiento de aeropuertos	\$ 11.94	0.06%	0.33%	7.86

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presentan los detalles de los flujos de los costos y beneficios identificados



Tabla 51 – Beneficios esperados. Valor corriente

MMUSD - Valor Presente	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Reducción de la contaminación por importación de vehículos	0.0	1.2	0.9	19.1	19.5	19.8	20.1	20.5	20.2	20.2	19.9	19.7	20.4	17.8	17.0	16.5	16.2	15.6	15.7	15.2
Disminución de la accidentalidad	0.0	30.5	36.0	51.0	77.2	116.2	169.2	237.2	321.1	421.5	538.7	571.7	603.9	635.0	665.2	694.3	722.4	749.3	775.1	830.0
Menores costos por aumento en la eficiencia del mantenimiento vial y control de pesos	0.0	19.9	36.0	49.1	59.6	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2
Menores costos operativos por mejor estado de las carreteras	0.0	94.8	123.0	139.4	154.5	173.6	198.8	215.0	232.3	250.8	270.6	291.8	314.4	338.5	364.3	391.8	421.1	452.3	485.6	521.0
Ahorros de tiempo	0.0	0.5	1.0	1.6	2.3	2.8	5.4	6.2	7.1	8.1	9.3	10.7	12.3	14.1	16.2	18.5	21.2	24.3	27.9	31.9
Menos días con aeropuertos cerrados por rehabilitación	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.7	0.0	0.0	0.0	2.5
Diferencial Costos Mantenimiento Aeropuertos	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	2.5	-1.9	-1.9	35.3	-1.9	-1.3	-1.9	-1.9	2.2	-1.9	-1.1	35.3	-1.9	-1.9	-1.9	-1.1
<b>Total</b>	-1.9	145.0	195.1	258.3	315.7	378.7	459.9	582.7	647.0	768.5	904.9	960.2	1021.3	1071.8	1131.7	1225.3	1247.2	1307.9	1370.5	1467.7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52 – Costos esperados. Valor corriente

MMUSD - Valor Actual	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Desarrollo de la normativa de importación de vehículos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Implementación control de importaciones de vehículos	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Aumento costos importación de vehículos	0.0	9.0	7.4	166.8	173.0	178.4	183.8	186.8	184.0	186.4	184.7	184.5	79.0	162.3	149.4	142.7	134.0	129.0	127.7	121.4
Plan Nacional de Seguridad Vial	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Elaboración Manual de prevención de accidentes	0.1					0.1					0.1					0.1				
Intervenciones de seguridad vial- puntos negros	1.5	1.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Inventario vial calificado actualizado	1.3	1.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Sistema de registro y clasificación de conteos	5.2	5.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Pesos por eje: Instalación de balanzas	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pesos por eje: Mantenimiento y control	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Rehabilitación Vial	317.0	317.0	317.0	317.0	317.0	272.7	272.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Desarrollo e implementación programa de mantenimiento aeroportuario	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>Total</b>	<b>327.8</b>	<b>335.9</b>	<b>328.2</b>	<b>486.3</b>	<b>492.5</b>	<b>453.8</b>	<b>459.0</b>	<b>189.3</b>	<b>186.5</b>	<b>188.8</b>	<b>187.3</b>	<b>187.0</b>	<b>81.5</b>	<b>164.8</b>	<b>151.9</b>	<b>145.3</b>	<b>136.5</b>	<b>131.4</b>	<b>130.2</b>	<b>123.8</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para determinar la robustez de los resultados anteriores se ha realizado un análisis de la influencia de cada una de las principales variables del modelo, así como en conjunto, sobre el resultado final (TIR y VAN). El ejercicio de sensibilidad que se produce a continuación, se realiza mediante simulaciones de Monte Carlo para cada una de las variables principales.

### Descripción del Método Monte Carlo

El método Monte Carlo es un método no determinista o estadístico numérico usado para aproximar expresiones matemáticas. Consiste en una simulación que permite calcular estadísticamente el valor final de una secuencia de sucesos no deterministas (sujetos a variabilidad), como es el caso del plazo o el coste de un proyecto. La simulación consiste en ejecutar varias veces los diferentes sucesos variando aleatoriamente su valor en función de la función estadística que los define, dando como resultado un conjunto de valores finales. Este conjunto de valores permite calcular el valor medio y la variabilidad para el conjunto.

Teóricamente en cualquier proyecto hay dos elementos que tienen un comportamiento no determinista:

- Las actividades, las cuales tienen un valor medio y una variabilidad de acuerdo a una distribución estadística, que permite relacionar un determinado valor de plazo o coste a un porcentaje de representatividad.
- Los riesgos, sujetos a una probabilidad de ocurrencia y a un impacto. Por ejemplo, si tenemos un riesgo con una probabilidad de ocurrencia del 15%, y un impacto de 1000 unidades y 1 día, diremos que el 15% de las veces que se ejecute el proyecto, este va a durar un día más y costar 1000 unidades más, el 85% de las veces restantes no.

Teniendo definidas las distribuciones estadísticas de todas las actividades y riesgos, es posible calcular un valor determinado para cada actividad o riesgo mediante la generación de múltiples números aleatorios de 0 a 100, asemejando el número aleatorio al porcentaje de representatividad del valor de la actividad, o a la probabilidad de ocurrencia del riesgo. Al final, esto permite calcular una duración o coste total del proyecto para cada valor aleatorio y calcular la distribución estadística que sigue el proyecto en su conjunto.

### Pasos seguidos para la aplicación del Método Monte Carlo

Este método permite identificar aquellas variables críticas con mayor impacto en los resultados y eventualmente monitorearlas en los próximos años por si surgen desvíos respecto de los valores base. Entonces el proceso fue:

1. Identificar las principales variables del modelo.
2. Asignarle a cada una de estas variables una distribución normal con media el valor del escenario base y como desvío estándar un valor coherente y a criterio nuestro (no está basado en series estadísticas elaboradas específicamente sino que son más bien valores típicos). Este último punto tiene eventualmente un impacto sobre el rango de variabilidad

de los resultados pero no sobre el promedio o valor más probable de estos ni tampoco sobre el impacto individual de cada variable (siendo estos últimos resultados los más interesantes del análisis de sensibilidad).

Siguiendo la metodología anterior, y a fin de determinar hasta qué punto los supuestos e hipótesis adoptados infieren en los resultados, se asume que las principales variables listadas a continuación tienen una distribución normal con un valor de promedio igual al valor del escenario base y una desviación estándar acorde al rango de sus valores. Así, usando la distribución individual de cada una de las variables, se realiza un conjunto de 50.000 simulaciones y se observan los impactos en la TIR, VAN y ratio de Beneficio/Costo.

Las variables analizadas que fueron seleccionadas y modeladas mediante funciones aleatorias (de tipo normal) se presentan a continuación indicando media y desvío estándar. Nótese que los valores de desvíos estándares de las distribuciones se establecieron de acuerdo al criterio de este consultor a modo de referencia, sirviendo este análisis de sensibilidad como herramienta para la toma de decisiones y posterior monitoreo del Banco de la evolución de las principales variables identificando aquellas cuya variabilidad tiene mayor impacto sobre los resultados.

Las variables analizadas que fueron seleccionadas y modeladas mediante funciones aleatorias (de tipo normal) fueron:

- **Los kilómetros recorridos:** La variable de la distancia recorrida de todos los vehículos se vuelve aleatoria con una distribución normal de media con su valor original y un desvío standard de 10%. Esta variable afecta del mismo modo a los kilómetros recorridos por todo tipo de vehículos.
- **Costo de bonos de CO2:** la serie de precios de bono de carbono adquiere aleatoriedad en torno a su promedio con un desvío del 15%.
- **Costo de contaminantes:** El costo de los contaminantes también varía en torno al promedio con un desvío del 15%.
- **Tasa de costos de heridos y muertes:** la tasa utilizada para determinar el costo para la sociedad de las muertes y heridos, adquiere una variabilidad del 5%.
- **Precio inicial de vehículos de pasajeros y cargas:** El precio inicial de los vehículos al momento 2014 se simula con un desvío del 10%.
- **Tasa de variación entre la tecnología del material rodante:** en este caso la variable intenta capturar la diferencia de precios entre la tecnología del material rodante. En particular, para el escenario de base se toma una diferencia del 3%. Al generar aleatoriedad en la variable con un desvío de 2%, implica que entre un EURO I y un EURO IV el precio puede ser 95% del precio inicial para un EURO I y 110% para el EURO IV.
- **Costo de mantenimiento vial sin proyecto:** Los costos por km para el mantenimiento de las vías principales se simularon con un desvío del 10%.

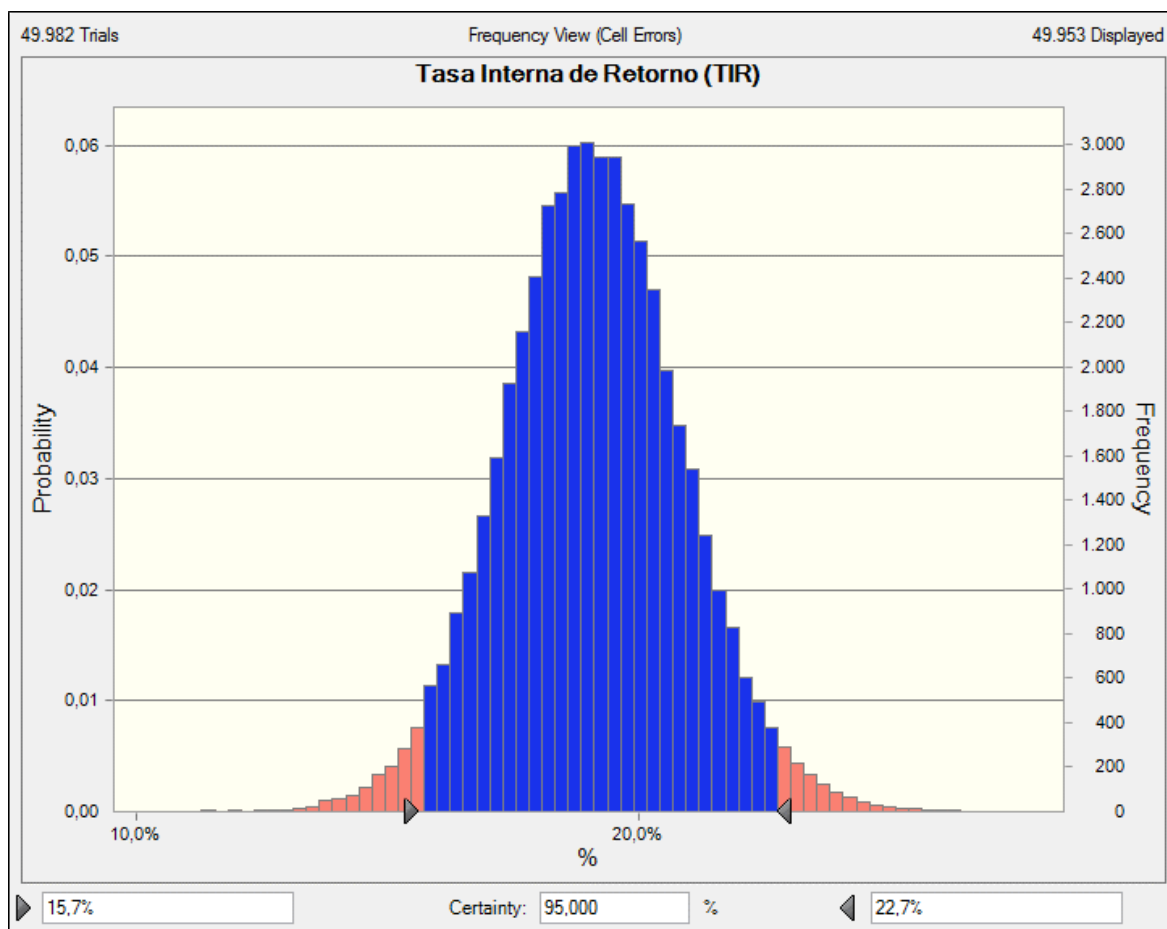
- **Costo de mantenimiento vial con proyecto:** Para estos costos se utilizó un desvío del 8% respecto de la media.
- **Costo por puntos negros:** Los costos por intervenir cada uno de los puntos negros se modeliza en torno a su valor promedio con un desvío de 10%.
- **Cantidad de puntos negros a afectar:** la cantidad de puntos negros a afectar también se simula en torno a su valor medio con un desvío de 30 puntos negros.
- **Valor del tiempo:** se simula con un desvío de 15% alrededor del su promedio.
- **Tasa de ajuste del valor del tiempo:** se genera una variación simulando una variable aleatoria normal con un promedio de 3 y un desvío de 0.7.
- **Cambio en velocidad comercial:** la velocidad de 5km/h se simula con un desvío de 2km/h.
- **Costo unitario de balanzas:** el costo unitario de cada balanza se simula con un desvío de 15%.
- **Cantidad de Balanzas:** la cantidad de balanzas a comprar por el estado se vuelve una variable aleatoria normal con media 21 y desvío de 15%.
- **Costos operativos:** Estos costos se simularon con un desvío del 15%.
- **Proyección de PBI:** la pendiente de la regresión utilizada para proyectar el crecimiento futuro de esta serie, se vuelve una variable normal con un desvío del 10% en torno a su promedio.
- **Diferencias de velocidad según tipología de vialidad:** Para estimar el ahorro de tiempo, fue necesario hacer supuestos sobre las velocidades de circulación de diferentes tipologías de vehículos en diferentes contextos (IRI). Así, esta variable toma valor de 0% cuando las diferencias de velocidad son las del escenario base y se asume que tiene un desvío de 10%.

Finalmente, una vez definidas las variables aleatorias que tienen repercusiones en la TIR, VAN y el ratio Beneficio/Costo, los valores de cada una de las variables son simuladas 50mil veces y se se obtiene el resultado de los indicadores económicos usando estos valores. Como resultado de la aleatoriedad generada en las variables que son usadas como insumos, la TIR, VAN y el ratio Beneficio/Costo, también obtienen una distribución. A continuación se presentan los resultados de este ejercicio. Los resultados a continuación, refuerzan y reafirman los resultados encontrados anteriormente.

Los valores de la TIR simulada tienen un promedio de 19,3% con un desvío de 5,5%. Dada la aleatoriedad incorporada, a partir de la simulación se puede afirmar con un 95% de confianza que la TIR estará acotada entre 15,7% y 22,7%.

Esto indica una distribución que acumula probabilidad hacia la derecha del promedio. A continuación se puede ver el gráfico de la probabilidad acumulada para la TIR.

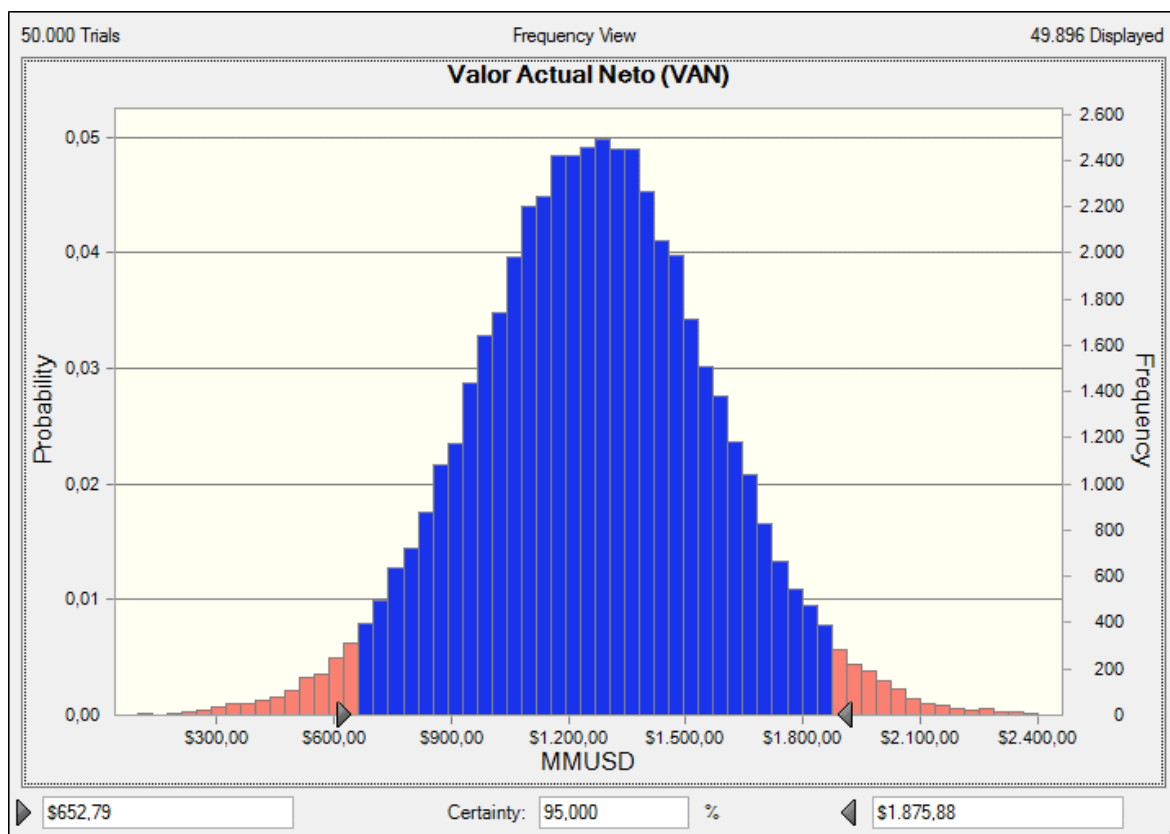
Gráfico 22 – Distribución simulada de la TIR



Fuente: Elaboración propia

Para el caso del VAN, la distribución obtenida es similar, con promedio en U\$D 1.345 millones y un desvío de U\$D 2.239 millones, y una mediana de U\$D 1.089. El VAN estimado en el 95% de casos se encuentra acotado entre U\$D 513.99 y U\$D 1.673.68 millones. Observando el gráfico a continuación, puede decirse que para prácticamente todos los valores simulados se encontró un VAN positivo y con un nivel de confianza del 95% se puede decir que su valor se encuentra entre U\$D 652 Millones y U\$D 1875 Millones.

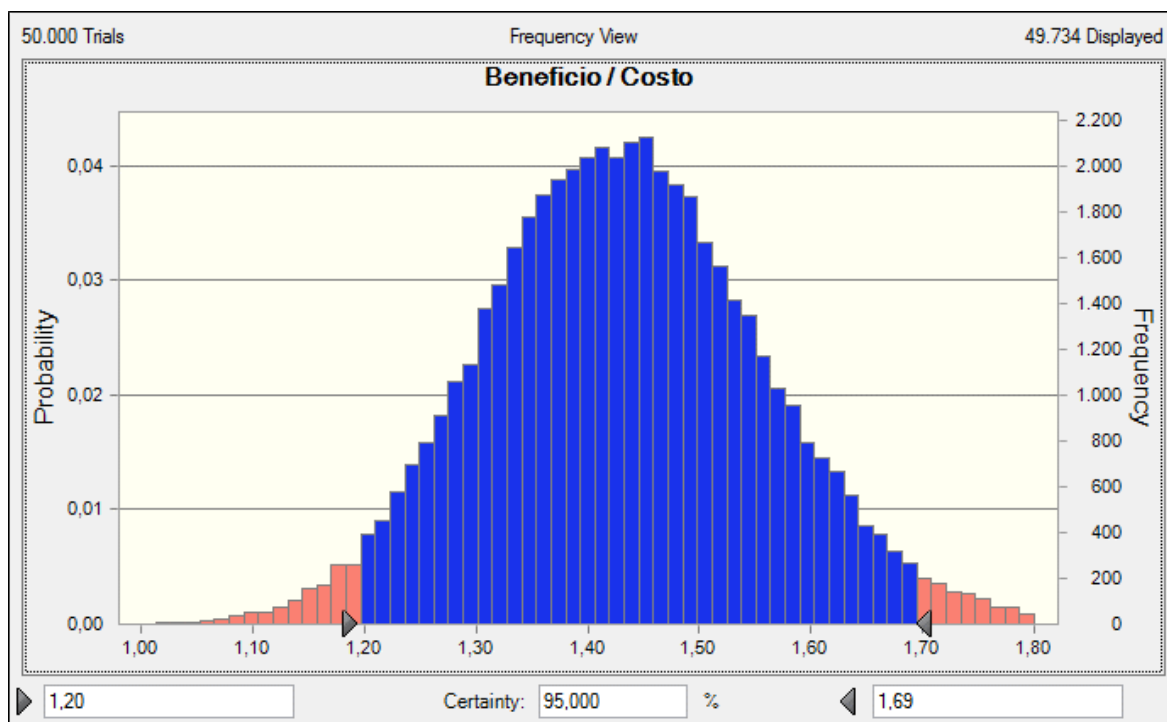
Gráfico 23 – Distribución simulada del VAN



Fuente: Elaboración propia

Si se observa la distribución simulada del ratio beneficio/costo, comparte características con las anteriores. En promedio el ratio es 1,39 con un desvío de 0,77. Puede aseverarse con un 95% de confianza que este valor se encuentra entre 1,2 y 1.69.

Gráfico 24- Distribución simulada de Beneficio/Costo



Fuente: Elaboración propia

El análisis de sensibilidad permite entender cómo las diferentes variables contribuyen a la variabilidad de la TIR y el VAN. En los siguientes dos gráficos se muestra el análisis para todas las variables.

Entre las variables que más afectan el rendimiento y el Valor Actual Neto se encuentra en primer lugar los kilómetros recorridos por el total de vehículos, que contribuye positivamente al 32,6% de la variabilidad de la TIR y 36% del VAN. Luego, la variación del precio de los vehículos entre clases EURO afectó la variabilidad en similar magnitud y signo contrario. En el escenario base la diferencia de precios estaba establecida en 3% entre los diferentes modelos de vehículos. Al simular valores de variabilidad entre los modelos de vehículos, se puede ver que esta variable puede llegar a impactar hasta en un -32,6% a la TIR y -31,6% al VAN (para una diferencia de precios del 5%). Relacionado con la misma política, el precio inicial de los vehículos, sobre el cual se realizaron luego las proyecciones, impactó en la variabilidad de la TIR en un -11% y en el caso del VAN del -10,5%.

Luego, continuando con el orden de contribuciones con signo positivo a la variación de la TIR y VAN, se encuentra la tasa utilizada para determinar el costo de los heridos y fallecidos en accidentes, el costo de mantenimiento por km de la red vial en situación si proyecto, y la diferencia de costos producida por una variación del ajuste del IRI.

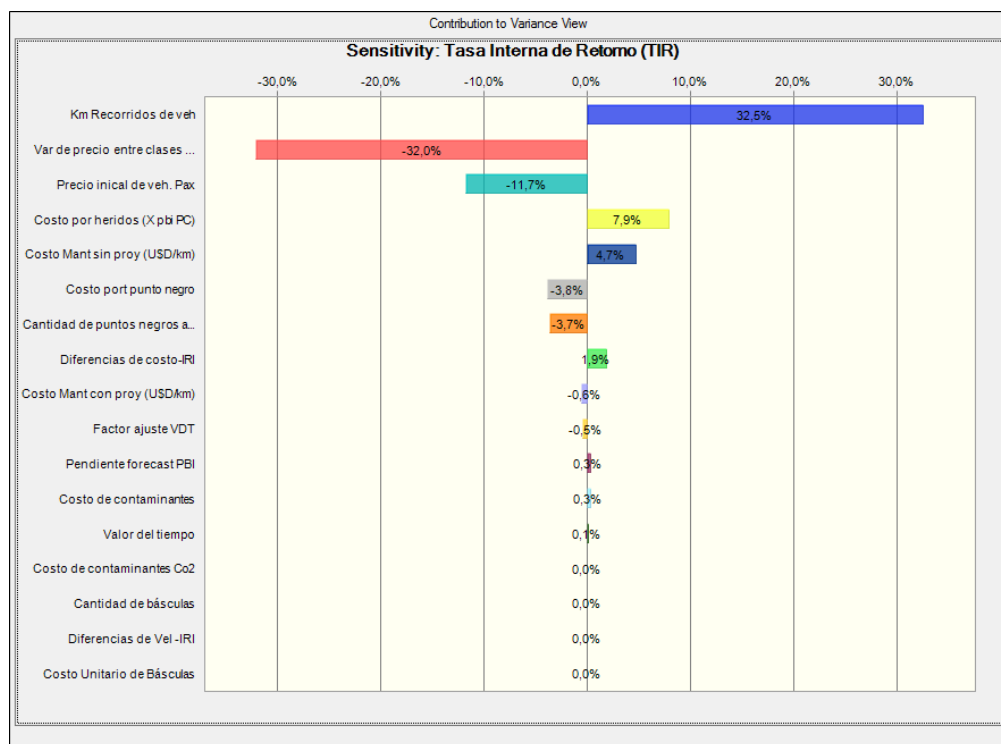
Respecto a las contribuciones a la volatilidad de signo negativo, resta destacar las vinculadas a la política de intervenciones sobre puntos negros, tanto por el lado de la cantidad de puntos como



por el lado del costo la intervención, en ambos casos con un efecto del -3,9% sobre la TIR y del -1,8% sobre el VAN.

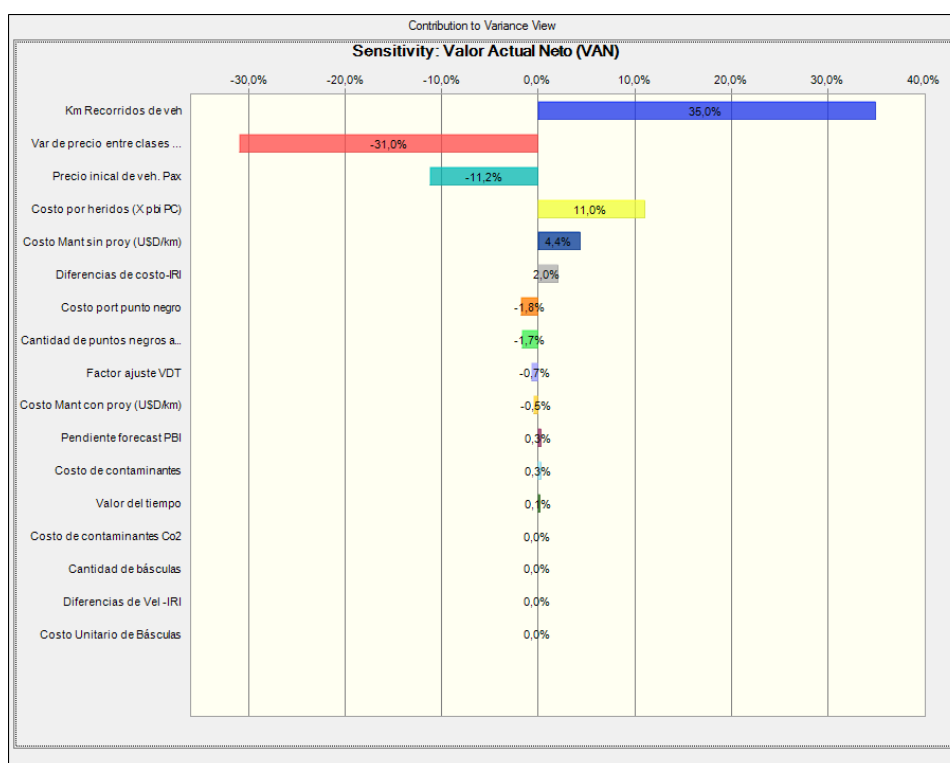
El resto de las variables prácticamente no tienen efectos sobre la variabilidad de los beneficios esperados.

Gráfico 25 – Contribución a la varianza de la TIR



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 26 – Contribución a la Varianza del VAN



Fuente: Elaboración propia

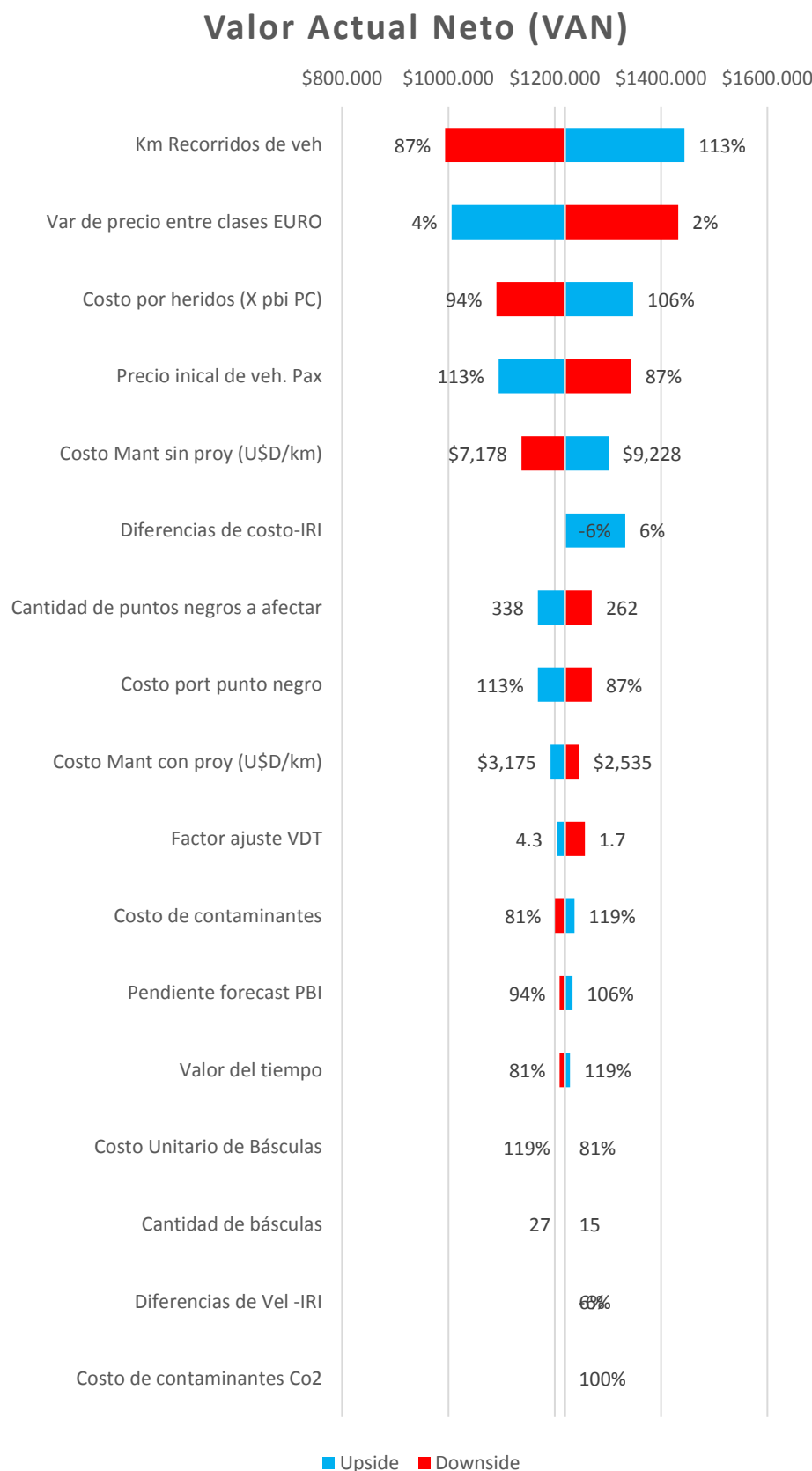
La simulación de Montecarlo de las variables aleatorias demostró que el valor más probable para la TIR es de 19,1%. Dado que tiene una distribución muy similar a una normal, el percentil 50 (mediana) es del mismo valor. Por otra parte, el Valor Actual Neto de las reformas en las políticas generan en promedio beneficios por U\$D 1.100 millones.

En resumen, las variables que más aporte generan a la variabilidad del VAN y a la TIR son las siguientes (ver gráficos 27 y 28):

- La distancia que existen entre las diferentes tecnologías de material rodante.
- La cantidad de kilómetros que recorren en promedio los vehículos.
- La tasa utilizada para calcular el valor de heridos y fallecidos.
- El precio inicial de costo de los vehículos para calcular las proyecciones de costos de la política de importación bajo normas EURO IV.
- Los costos de mantenimiento vial en situación sin proyecto.
- El costo de las intervenciones en puntos negros (tanto por la cantidad de puntos como por el precio unitario de cada intervención)

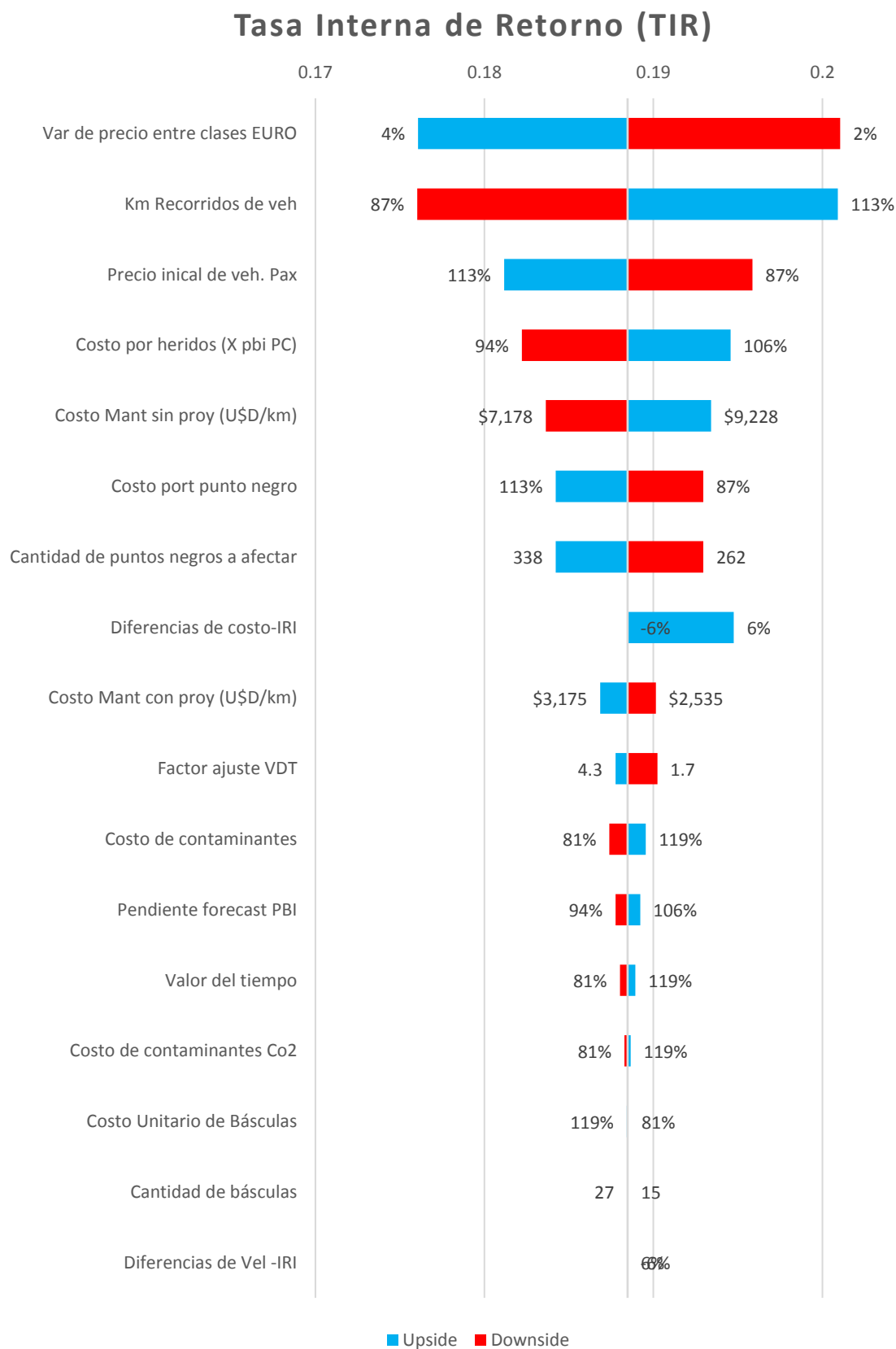
Los gráficos a continuación llevan el nombre de gráficos de tornado. En los mismos se pueden ver una serie de cuestiones en simultáneo. Para empezar, en el eje horizontal superior, se presenta el rango de la variable que es objeto de estudio. En este caso, la TIR/VAN/Ratio Beneficio-Costo. Luego, el eje vertical, enumera las variables por orden de importancia según los efectos que generen sobre las variables objetivo. Estas variables, han sido simuladas 50mil veces y a partir de sus valores se obtiene nuevos resultados. El gráfico de tornado nos muestra la variabilidad que ha alcanzado la variable y en los casos máximos el aporte que genera en las variables finales de interés. En este primer caso, como ejemplo, se pudo ver que la variable cantidad de Km recorridos ha bajado hasta 87% (razón por la cual se encuentra en rojo) y ha subido hasta 11% (por eso se encuentra con un relleno verde). En el escenario donde la variable obtuvo el mínimo, el VAN fue de U\$D 831 Millones y la TIR fue de 17.6%. En el caso del máximo la TIR llegó a los U\$D 1257 Millones y la TIR fue de 20%. En contraposición al ejemplo anterior, la variación de precios entre las diferentes tecnologías ha variado entre 4% y 2%. En este caso, a medida que la variación se redujo (ROJO), la TIR y VAN, aumentaron; y cuando la diferencia aumento (VERDE), el costo al que se expone la sociedad irá aumentado y por lo tanto, la TIR y VAN caen hasta U\$D 840 Millones y 17.6%.

Gráfico 27 – Distribución simulada del VAN



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 28 – Distribución simulada de la TIR



Fuente: Elaboración propia

## 5. CONCLUSIONES

A modo de conclusión de esta evaluación económica, se puede afirmar que los cambios regulatorios producen efectos positivos para la economía en su conjunto. En particular, luego del análisis de sensibilidad se obtuvo una TIR promedio de 19,1% y un VAN de U\$D 1.100,6 millones.

El análisis permitió entender que la política de restricción de importaciones a modelos inferiores a EURO II y posteriormente a EURO IV genera pérdidas debido al costo adicional que los agentes deberían enfrentar por tener que comprar vehículos más eficientes y por ende más onerosos. A su vez, los ahorros medioambientales de la política no generan aportes positivos significativos para afectar el resultado global.

En este contexto, el precio base y la diferencia de precio que existe entre los diferentes modelos de vehículos están entre los principales causantes de la volatilidad del retorno del proyecto. Por lo tanto, se recomienda prestar especial atención a la implementación de esta política. En este sentido, cabe destacar que la restricción para vehículos que se estipuló en la Ley 165 generó efectos negativos en la serie de importaciones. Al anunciarse la política, al año se genera un pico de modelos EURO I; un comportamiento similar podría generarse.

Los costos y beneficios de las regulaciones aeroportuarias prácticamente no generan beneficios o costos y no aportan a la volatilidad de los indicadores económicos del cambio regulatorio.

Finalmente, la reducción en los accidentes y los ahorros en tiempo como resultado de mejoras en la red vial fundamental producen efectos claros para la economía en su conjunto. Estas dos políticas generan cerca del 97% de los beneficios y 70% de los costos.