

Hernán de Solminihac
Joaquín Dagá
Tomás Echaveguren

20 de Abril, 2019

www.clapesuc.cl

Priorización de Riesgos en Proyectos de Concesiones Viales en Chile

Documento de Trabajo N° 58

Documento de Trabajo Clapes UC
Priorización de Riesgos en Proyectos de Concesiones Viales en Chile
Hernán de Solminihac, Joaquín Dagá y Tomás Echaveguren

Finalizado a mediados de noviembre de 2018

Resumen

En este documento se realiza una priorización de los 10 principales riesgos en proyectos de concesiones viales en Chile, basándose en el juicio de 45 expertos involucrados en el sistema de asociaciones público-privadas (APP). Para ello se emplea el Proceso de Jerarquización Analítica (AHP), el que permite priorizar alternativas en función de múltiples criterios de evaluación. A partir de la aplicación de este método de priorización se obtiene que, para el global de los 45 expertos entrevistados, el riesgo más relevante de los proyectos viales bajo el modelo de concesiones en Chile es la Descoordinación entre Instituciones del Estado, con un peso relativo de 10,88%, seguido por Incompletitud de la Ingeniería (10,48%) y Atraso en Aprobación Ambiental (10,41%). Además, se concluye que el criterio más importante para la evaluación de riesgos en proyectos viales concesionados es el aspecto técnico (30,3%), seguido por el criterio financiero (25,2%), el social (25,1%) y finalmente el comercial (19,4%). A partir de estos resultados se desprende la necesidad de focalizar los esfuerzos en una mayor articulación y armonización de las entidades regulatorias de las APP.

Palabras Claves: *Concesiones Viales, Asociaciones Público-Privadas (APP), Riesgos, Proceso de Jerarquización Analítica (AHP).*

Abstract

This document prioritizes the top 10 risks in toll road concession projects in Chile, based on the judgment of 45 experts involved in the public-private partnership (PPP) system. For this, the Analytical Hierarchy Process (AHP) is used, which allows prioritizing different alternatives based on multiple evaluation criteria. From the application of this prioritization method it is obtained that, for the overall of the 45 experts interviewed, the most relevant risk in road projects under the concessions model in Chile is the Lack of Coordination among State Institutions, with a relative weight of 10.88%, followed by Incompleteness of Engineering (10.48%) and Delay in Environmental Approval (10.41%). In addition, it is concluded that the most important criterion for the risks evaluation in road concession projects is the technical aspect (30.3%), followed by the financial criterion (25.2%), the social criterion (25.1%) and finally the commercial one (19.4%). Based on these results, the need to focus efforts on a better articulation and harmonization of regulatory entities of PPPs is concluded.

Keywords: *Road Concessions, Public-Private Partnerships (PPP), Risks, Analytical Hierarchy Process (AHP).*

1. Introducción

El progreso en materia de infraestructura vial es un detonante del crecimiento del país, ya que ella otorga accesibilidad y movilidad a la población. Una red de infraestructura eficiente es un factor clave de desarrollo para una nación, pues contribuye a una mayor productividad y competitividad, lo que se traduce en una mayor riqueza y menores brechas de desigualdad social.

Los países crecen por aumentos de capital, de trabajo o mejoras en la productividad. La acumulación de los factores de producción capital y trabajo se denomina en economía “crecer por transpiración”, mientras que el incremento de la productividad se asocia a “crecer por inspiración”. La inversión en infraestructura pública contribuye a ambos tipos de crecimiento, pues aumenta el stock de capital, el uso de mano de obra y a la productividad del país. En Chile existe evidencia de que por cada 10% que aumenta la inversión en infraestructura pública, el PIB per cápita crece en promedio 1,7% (Idrovo, 2012).

Las asociaciones público-privadas (APP) han sido relevantes para el desarrollo de la infraestructura del país, especialmente en las obras viales. La ejecución de obras de infraestructura mediante APP permite liberar recursos fiscales que pueden ser redestinados a otros proyectos o programas socialmente atractivos, no necesariamente rentables para el sector privado. Además, las APP permiten distribuir los riesgos de manera tal que una fracción de estos sean asignados a la parte contractual que es más capaz de mitigarlos o soportarlos, minimizando así los costos económicos asociados a dichos riesgos (Haimés y Jiang, 2001).

Hace 26 años tuvo lugar la primera obra concesionada en Chile, con la construcción del Túnel el Melón (1993), en un contexto de déficit de infraestructura en el país. A partir de ahí, las alianzas público-privadas han contribuido significativamente a la generación de obras públicas. En el transcurso de los años, la implementación del modelo de las concesiones en Chile ha sido reconocida internacionalmente por su nivel de madurez.

Sin perjuicio de aquello, y de los importantes avances basados en la experiencia de estos 26 años, aun se evidencian oportunidades de mejora en el sistema de APP, específicamente en materia de gestión de riesgos. Su asignación ineficiente puede resultar perjudicial para el éxito de contrato de concesión vial. Esto cobra especial relevancia en el contexto actual, puesto que en los próximos años finalizan 8 concesiones de la red vial estructurante del país.

Esto motivó al Centro Latinoamericano de Políticas Económicas y Sociales de la Pontificia Universidad Católica de Chile (Clapes UC) a estudiar los principales riesgos presentes en el sistema de APP en obras viales. El objetivo de este documento de trabajo es identificar y priorizar analíticamente los principales riesgos en los proyectos de concesiones viales en Chile, desde el punto de vista de los involucrados en una APP. Para ello se utilizó el método de valoración multicriterio denominado Proceso de Jerarquización Analítica (AHP) (Saaty, 1980).

Este documento, finalizado a mediados de noviembre de 2018 comienza con una presentación de los antecedentes generales de las concesiones de obras públicas en Chile, lo cual permite comprender mejor la relevancia y situación de este sistema para el desarrollo de infraestructura. Posteriormente se hace una descripción del Proceso de Jerarquización Analítica (AHP) como método de priorización. Luego se presenta el modelo de jerarquización analítica de riesgos en concesiones viales, definiendo los criterios de evaluación y los riesgos identificados por 45 actores clave. Finalmente, se presentan y analizan los resultados de la priorización de riesgos en APP viales en Chile.

Esperamos que este estudio sea de utilidad para los distintos involucrados en el debate y diseño de las políticas públicas. Esta priorización de riesgos puede ser un aporte para identificar las áreas en donde se deben focalizar los esfuerzos para el diseño y regulación del sistema de concesiones. Esto permitiría aumentar la eficiencia de las APP en Chile, ayudando a mejorar la calidad de vida de los chilenos, y avanzar así hacia un país desarrollado.

2. Antecedentes de las Concesiones en Chile

El sistema de APP de Chile está compuesto por 87 proyectos concesionados, los que se encuentran en distintas etapas de su ciclo de vida. Del total de proyectos, 52 (59,8%) se encuentran en operación, 7 en construcción (8,0%) y 7 en construcción y operación (8,0%). Los 21 proyectos restantes (24,1%) corresponden a concesiones extintas. De estos 21 contratos finalizados, 13 ya fueron concesionados nuevamente (MOP, 2018a).

El sistema de concesiones ha sido un factor de impulso de la inversión en obras públicas en Chile. Al año 2017 se tiene una inversión acumulada de más de US\$ 17.500 millones mediante las APP en Chile, lo que representa el 43% de la inversión ejecutada por el MOP en el periodo 1993-2017. La inversión anual materializada en concesiones en el mismo periodo fue en promedio cerca de US\$ 700 millones. Esta representó en promedio el 0,64% del PIB nominal de Chile en cada año de ese periodo. En la Figura 1 se presenta la evolución de la inversión del MOP y la inversión privada en obras públicas (APP) en Chile. Se destacan los niveles de inversión en APP entre los años 2001 y 2004, que representó en promedio el 1,8% del PIB. Desde el año 2010, la inversión en concesiones se ha mantenido dentro del rango 0,2-0,3% del PIB.

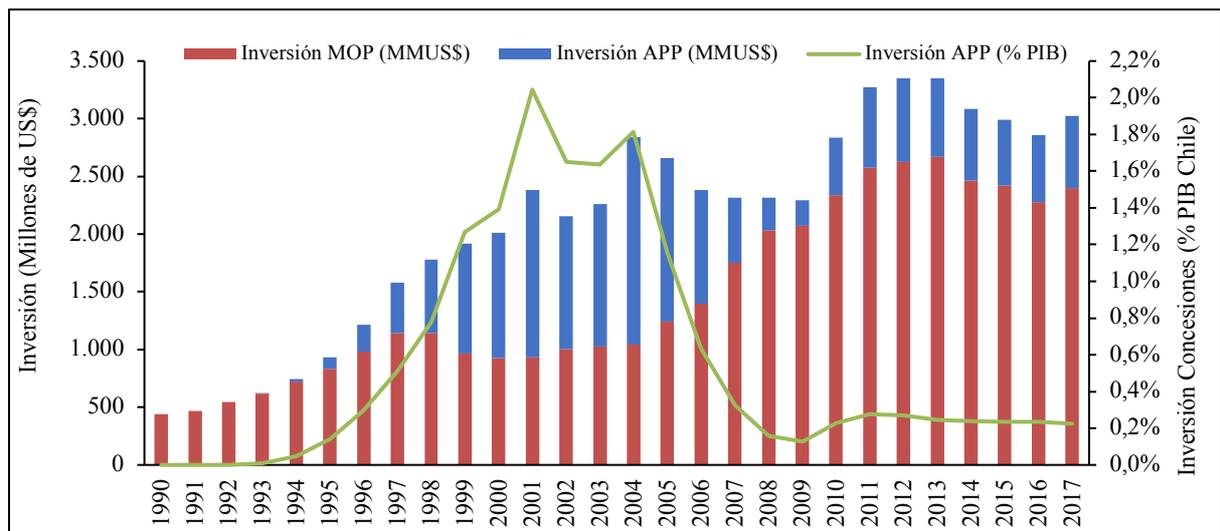


Figura 1. Inversión anual materializada en concesiones como porcentaje del PIB.

Fuente: Elaboración propia a partir de CChC (2017) y MOP (2018b).

El desarrollo de las concesiones en Chile ha involucrado principalmente la infraestructura vial, infraestructura aeroportuaria, edificación pública y obras de riego. Las obras viales han sido las infraestructuras de mayor desarrollo en materia de asociaciones público-privadas en Chile.

Al año 2015, los 39 proyectos de infraestructura vial concesionados comprendían cerca de 3.600 kilómetros¹ construidos. En ese año la red vial de todo Chile ascendía a 77.801 kilómetros. Por tanto, los tramos concesionados equivalían al 4,6% de toda la red. Considerando solo los caminos pavimentados (19.556 kilómetros), las concesiones representaban el 18,3% de la red vial pavimentada del país (MOP, 2016; MOP, 2015).

Las APP en infraestructura vial de Chile se pueden dividir en: urbana, interurbana Ruta 5, interurbana transversal y corredores de transporte público. En la Tabla 1 se muestra el desglose de la cantidad de concesiones, cantidad de kilómetros construidos y la inversión ejecutada en los contratos de APP viales al año 2015.

Tabla 1. Desglose de concesiones de infraestructura vial en Chile al año 2015.

Fuente: MOP (2016).

Tipología	Cantidad	km ²	Inversión MMUS\$ ³	MUS\$/km	% del Total km
Interurbana Ruta 5	12	1.991	5.493	2.759	55,7%
Interurbana Transversal	16	1.379	3.962	2.873	38,6%
Urbana	9	187	5.720	30.591	5,2%
Corredor Transporte Público	2	18	168	9.322	0,5%
Total Vialidad	39	3.575	15.343	4.292	100,0%

¹ Cifra de longitud de la red que no distingue ni considera número de pistas y calzadas, es decir, 1 km de camino de 1 calzada de 1 pista es considerada igual que 1 km de camino de 2 calzadas de 2 pistas.

² Cifra de longitud de la red que no distingue ni considera número de pistas y calzadas, es decir, 1 km de camino de 1 calzada de 1 pista es considerada igual que 1 km de camino de 2 calzadas de 2 pistas.

³ Inversión real en millones de dólares de 2018.

De la Tabla 1 se destaca que la inversión por kilómetro en infraestructura vial interurbana (Ruta 5 y transversal) representa en promedio el 9,2% de la inversión por kilómetro en autopistas urbanas concesionadas. Esto se explica principalmente por los gastos correspondientes al suelo urbano y las compensaciones. Además, se puede observar que la infraestructura interurbana corresponde al 94,3% de los kilómetros concesionados de infraestructura vial en Chile.

Al año 2018, los contratos vigentes de concesión de infraestructura vial en Chile son 35, de los cuales 3 están en proceso de construcción, 4 en etapa de construcción y operación simultánea y 28 en operación. De estos últimos, 12 corresponden a rutas transversales, 11 a tramos concesionados de la Ruta 5 y 5 a autopistas urbanas (MOP, 2018a).

Al tercer trimestre de 2017, la inversión total comprometida -esto es la inversión materializada y por ejecutar- en contratos vigentes de concesiones es 21.200 millones de dólares. En la Figura 2 se muestra la distribución de esta inversión comprometida por tipo de infraestructura. Se destaca que el 82% de la inversión comprometida en concesiones corresponde a vialidad.

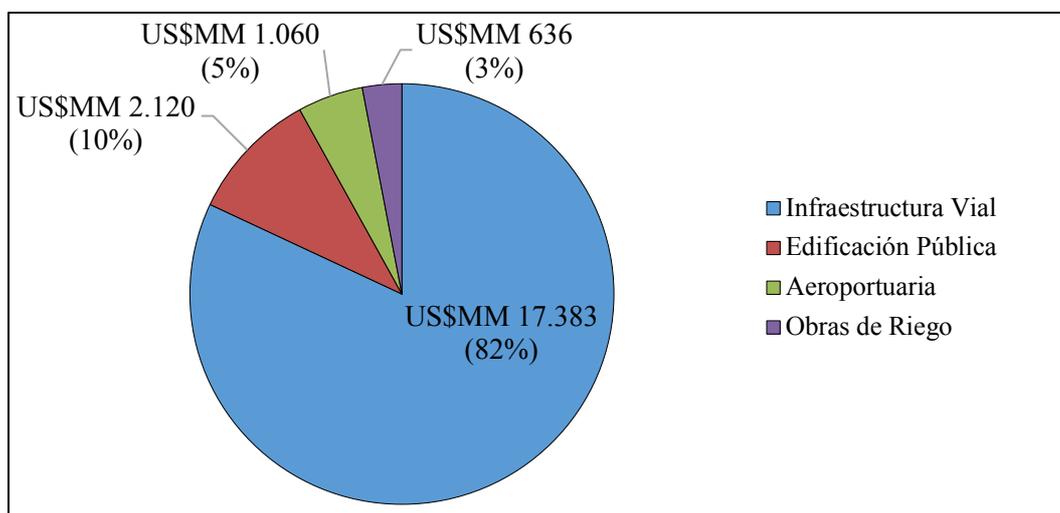


Figura 2. Inversión comprometida en concesiones por tipo de infraestructura al tercer trimestre del año 2017.

Fuente: MOP (2017).

Respecto al stock de inversión comprometida en concesiones por tipo de obra vial, la Figura 3 muestra cómo esta se distribuye para el año 2015. Es posible observar que la infraestructura vial urbana (37%) y la Ruta 5 (36%) son las que concentran mayor parte del stock de inversión comprometida al 2015. Además, el 62% de la inversión comprometida en vialidad corresponde a infraestructura interurbana.

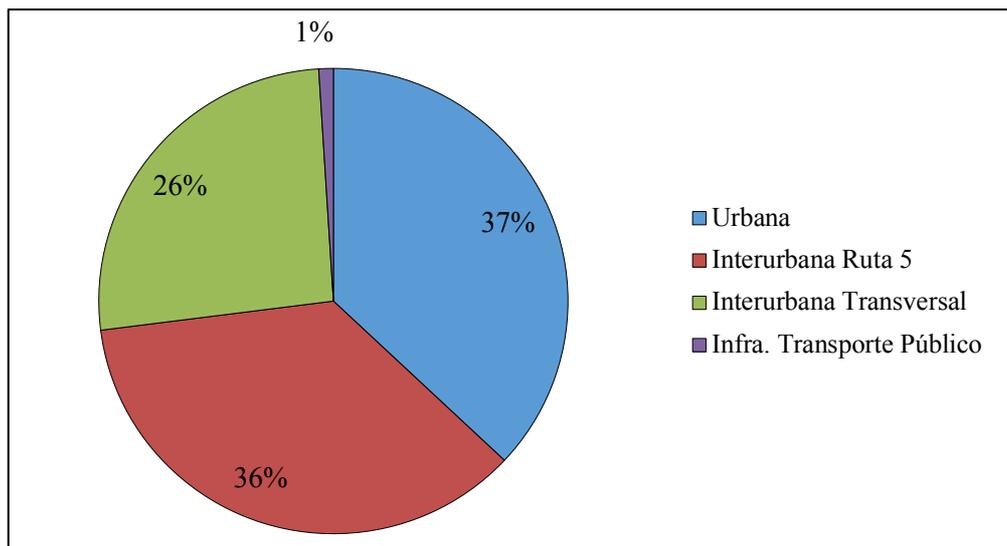


Figura 3. Distribución de inversión comprometida en concesiones por tipo de infraestructura vial al año 2015.

Fuente: MOP (2016).

A partir del año 2000, el ritmo de kilómetros concesionados adjudicados en Chile al año cayó fuertemente respecto de la década de los 90. La Figura 4 muestra los kilómetros⁴ adjudicados por año hasta el 2015. En esta se puede observar que se produce un *peak* en la cantidad de kilómetros adjudicados en el año 1998. En el trienio 1997-1999 se adjudicaron en total de 1.581 kilómetros en APP. El 2010 fue el año de mayor adjudicación en cuanto a kilómetros (256 km) desde 1999.

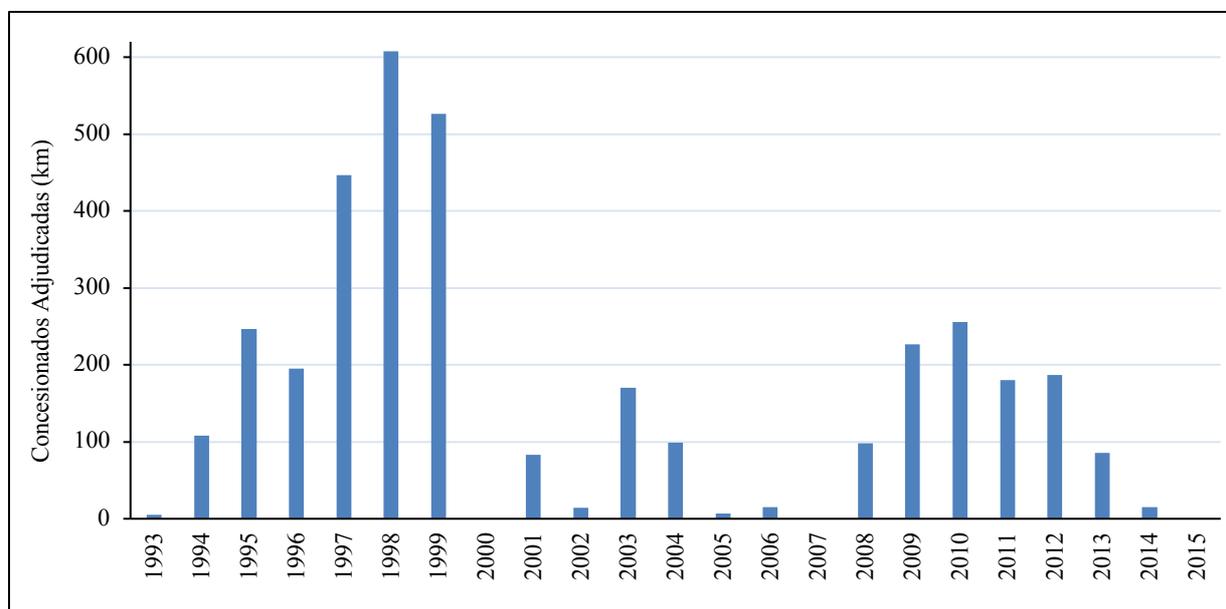


Figura 4. Kilómetros de concesiones viales adjudicados por año (1993-2015).

Fuente: MOP (2016).

⁴ Cifra de longitud de la red que no distingue ni considera número de pistas y calzadas, es decir, 1 km de camino de 1 calzada de 1 pista es considerada igual que 1 km de camino de 2 calzadas de 2 pistas.

Ante la incertidumbre propia de los proyectos de infraestructura, en especial de los contratos de largo plazo como es el caso de las concesiones, pueden surgir modificaciones de obras que requieran de renegociaciones contractuales. Estas tienen implicancias en los costos y plazos de ejecución de los proyectos. En Chile, entre 2001 y 2007 se hizo recurrente el uso de renegociaciones de concesiones. De acuerdo a Engel, Fischer y Galetovic (2014), al año 2007, las 50 APP que había adjudicado el MOP entre 1993 y 2007 se habían renegociado 144 veces. En promedio, cada uno de estos proyectos se había renegociado cada 2,5 años. En la Tabla 2 se resumen los montos renegociados en los contratos de concesiones por tipo de infraestructura entre 1997 y 2007.

Tabla 2. Inversiones y renegociaciones en concesiones de infraestructura vial en Chile entre 1997 y 2007.

Fuente: Engel, Fischer y Galetovic (2014).

Tipología	Plazo Promedio (Años)	Inversión Original (MMUS\$)	Montos Renegociados (MMUS\$)	Inversión Total MMUS\$	Renegociación /Inversión Total
Interurbana Ruta 5	24	2.875	843	3.718	23%
Interurbana Transversal	27	2.118	426	2.544	17%
Urbana	32	2.421	1.332	3.753	35%
Corredor Transporte Público	15	157	26	183	14%
Total Vialidad	22	7.571	2.627	10.198	26%

En el contexto de la asignación de riesgos, un elemento importante a tener en consideración corresponde a la generación de conflictos entre las partes involucradas en este tipo de alianzas, reflejando la gran complejidad del diseño de contratos de infraestructura. La gestión ineficiente de riesgos puede originar conflictos contractuales, los que implican una renegociación o arbitrajes. En la Figura 5 se observa la distribución de los conflictos contractuales en concesiones entre 1997 y 2015 por tipo de infraestructura. Se destaca que los proyectos de infraestructura vial concentraron el 64% del número de conflictos generados en concesiones en ese periodo.

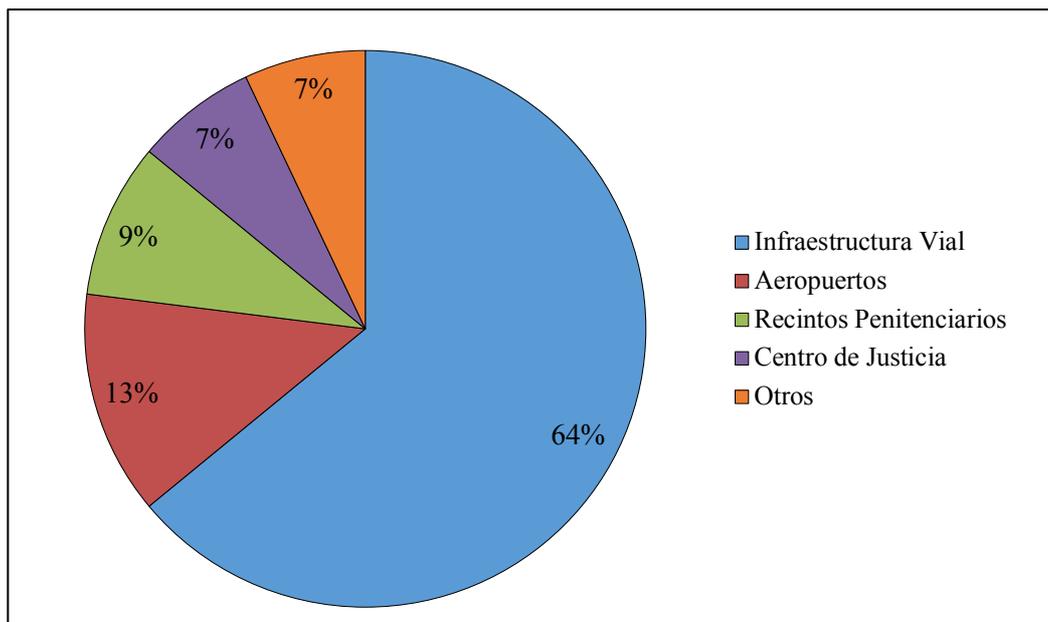


Figura 5. Distribución de conflictos contractuales en concesiones por tipo de proyecto (1997-2015).

Fuente: MOP (2016).

A través de la implementación del sistema de concesiones en Chile se han ideado mecanismos de resolución de conflictos, entre los cuales se encuentran los arbitrajes y el Panel Técnico de Concesiones⁵. En la Figura 6 se puede observar el número de causas por año de sentencia entre los años 1997 y 2015. El mayor número de causas sentenciadas se observa entre los años 2004 y 2006, asociadas principalmente a rutas interurbanas y al Aeropuerto AMB de Santiago (MOP, 2016).

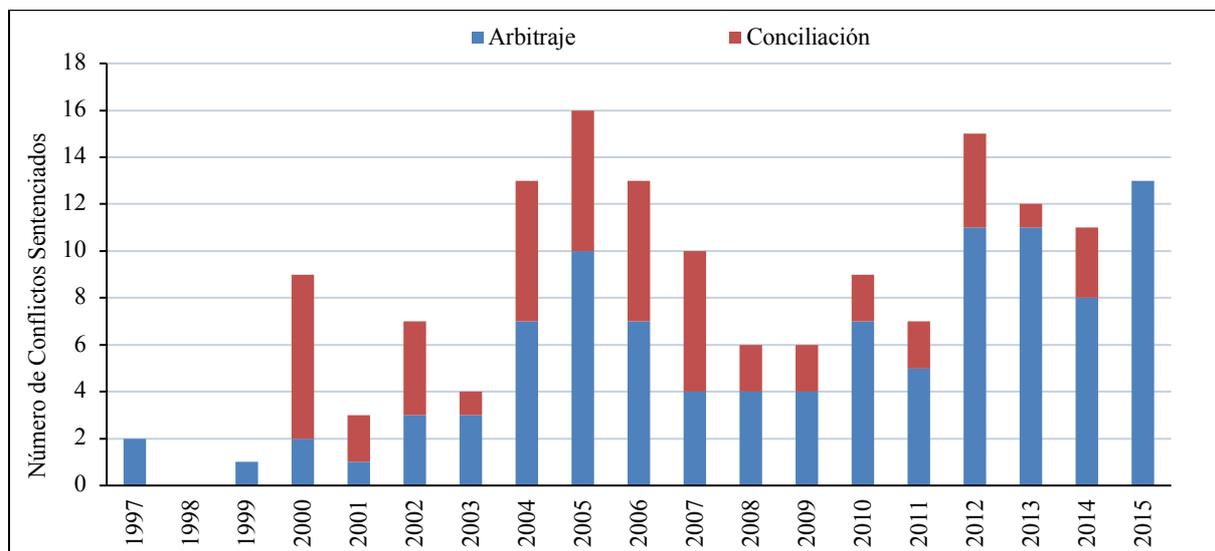


Figura 6. Número de conflictos contractuales sentenciados por año (1997-2015).

Fuente: MOP (2016).

⁵ A partir de 2010, en las nuevas concesiones se reemplaza la etapa de conciliación por un panel permanente e independiente de expertos, el que emite una recomendación de solución no vinculante a la disputa.

En esta sección se han entregado antecedentes generales sobre las alianzas público-privadas en Chile, con especial énfasis en las concesiones viales. Es posible observar que este modelo ha contribuido a la generación de infraestructura para el país aportando en su desarrollo económico y social. También es posible identificar que las concesiones viales se han visto afectadas por conflictos contractuales por problemas propios de este tipo de contratos y proyectos. En este contexto, resulta esencial identificar y ordenar (priorizar) los principales riesgos de las APP en Chile, de manera tal que la asignación de estos entre las partes sea lo más eficiente y equitativa posible. Ello se traduce en un menor costo de gestión de la infraestructura, tanto para el Estado como para el Concesionario.

3. Proceso de Jerarquización Analítica (AHP) como Método de Priorización

3.1 Descripción General del Método

La valoración multicriterio permite ponderar distintos elementos de acuerdo a su importancia relativa, particularmente cuando alguno o todos los elementos en juego no pueden cuantificarse en términos monetarios. Uno de los métodos más usados en valoración multicriterio es el Proceso de Jerarquización Analítica (AHP), desarrollado por Saaty (1980). Este método permite resolver problemas complejos de toma de decisiones. El resultado es una clasificación ordenada por prioridades de las alternativas de decisión basada en las preferencias globales de los tomadores de decisiones (Hinojosa, 2008). El método permite estructurar los problemas de decisión, realizar análisis y ordenar o priorizar las distintas alternativas disponibles en base a criterios múltiples (Jiang et al., 2011).

Las aplicaciones del método AHP son variadas, abarcando decisiones asociadas al área de marketing, finanzas, ingeniería, administración pública, entre otras. En el caso de obras viales, de Solminihac, Echaveguren y Chamorro (2018) reportan una revisión de usos del método de AHP para la gestión de este tipo de proyectos. Cafiso et al. (2002) emplearon el método AHP para generar un programa de mantenimiento en el sistema de gestión HDM-4; Coulter, Sessions y Wing (2006) para priorizar estrategias de mantenimiento de caminos forestales; Khademi y Sheikholeslami (2010) para priorizar programas de mantenimiento de caminos menores; y Farhan y Fwa (2011) para seleccionar operaciones de mantenimiento en función del deterioro del pavimento.

En el contexto de las asociaciones público-privadas, se identifica la oportunidad de emplear este método para priorizar, ordenar o *rankear*, mediante el juicio de expertos, los principales riesgos presentes en el sistema de concesiones viales en Chile. Las ponderaciones relativas que asignan los expertos a los riesgos en base a múltiples criterios permite entender de mejor forma qué aspectos son más relevantes en la asignación de riesgos en los contratos de concesiones viales en Chile. Así, la aplicación del método AHP permite conocer los riesgos más relevantes sobre los cuales se deben enfocar y concentrar los esfuerzos de gestión.

3.2 Proceso de Priorización y Resultados del Modelo AHP

La aplicación del método AHP comienza con la estructuración del modelo. Para ello se establecen niveles jerárquicos de priorización, compuestos por un objetivo global (O), de m criterios de evaluación (C_j) y de n alternativas o elementos a priorizar. En este trabajo, las alternativas corresponden a los riesgos presentes en las APP de vialidad en Chile (R_i). La Figura 7 muestra la estructura jerárquica analítica de la priorización multicriterio mediante AHP.

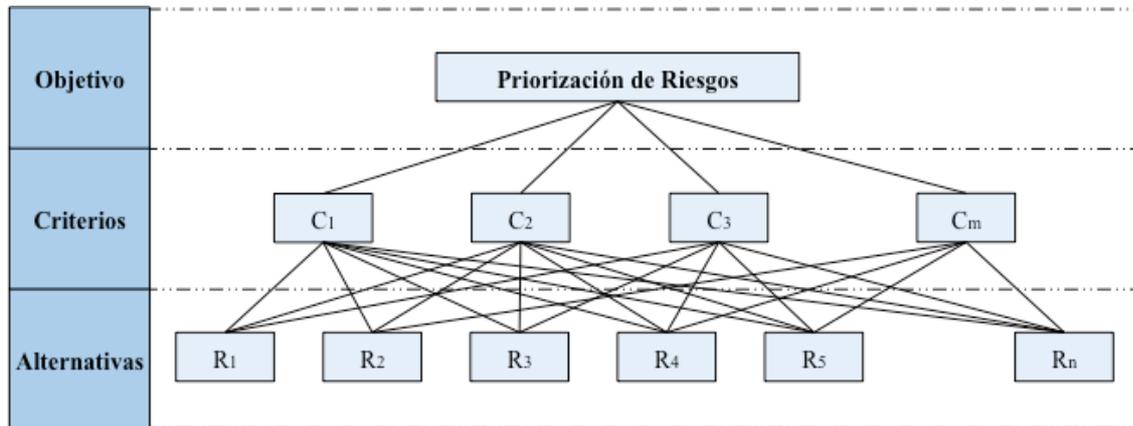


Figura 7. Estructura jerárquica analítica de priorización multicriterio.

Fuente: Adaptado de Iturra (2016).

Posteriormente, a partir de las asignaciones de pesos relativos de cada criterio de evaluación y de cada riesgo según criterio de evaluación se estructuran matrices de comparaciones pareadas. Las matrices se construyen utilizando la escala de Saaty, que emplea valores de 1 a 9, indicando cuántas veces más importante es un riesgo sobre otro considerando un determinado criterio de evaluación.

Una vez construidas las matrices de comparación pareada, se determinan las prioridades de cada elemento a través de un análisis matricial basado en el cálculo de vectores propios. El resultado del proceso es un vector de priorización global v de dimensión n , el cual en su entrada v_i muestra la prioridad global de la alternativa i , considerando los m criterios de evaluación y sus pesos correspondientes. El ordenamiento de las n entradas del vector de priorización global v le permite al tomador de decisiones tener un ranking de las alternativas evaluadas.

Tras el ordenamiento de los elementos que componen el vector de alternativas, se debe evaluar la consistencia de los juicios de expertos. Las comparaciones entre pares de criterios y alternativas por parte de los encuestados deben ser coherentes y lógicas, es decir, numéricamente consistentes y transitivas.

En el Anexo 1 se presentan en detalle el proceso de aplicación método AHP para la priorización de riesgos.

3.3 Priorización Probabilística de Elementos

Las respuestas de los cuestionarios aplicados a los expertos pueden tener un alto grado de variabilidad entre un experto y otro. Algunas alternativas pueden tener una

valoración similar en toda la muestra de entrevistados, mientras que otras pueden diferir en función de la experiencia del involucrado.

Una herramienta complementaria a la aplicación del método AHP para priorizar elementos es la simulación de Montecarlo. Esta permite incorporar la variabilidad de la valoración de los encuestados, obteniendo por resultado una priorización probabilística.

Para llevar a cabo la priorización probabilística se definen distribuciones de probabilidad (uniforme, triangular, u otra) de las entradas de las matrices de valoración, tanto de los criterios de evaluación como de las alternativas por criterio. Posteriormente, se asignan los parámetros a esas distribuciones. Finalmente, se realizan las simulaciones, para así obtener el valor esperado del peso relativo de cada elemento o riesgo y definir un intervalo de confianza para cada uno.

4. Formulación del Modelo de Jerarquización Analítica de Riesgos de Concesiones Viales

Para ordenar los riesgos de proyectos viales bajo el modelo de concesiones se debe comenzar con la construcción del modelo de jerarquización (Figura 8). Esto consiste en definir tanto los criterios de evaluación como los riesgos a priorizar, es decir, los elementos de los dos niveles del modelo que están bajo el objetivo de la Figura 7. Posteriormente, se construyen las matrices de comparación pareada a partir de las entrevistas a expertos. Tras un análisis matricial se determina la priorización determinística de los componentes del riesgo en APP. Luego, al introducir la variabilidad en las matrices de comparación mediante simulaciones de Montecarlo se realiza una priorización probabilística de los riesgos. Finalmente, se comparan los resultados obtenidos mediante el determinístico y probabilístico. En la Figura 8 se ilustra el proceso adoptado para este análisis.

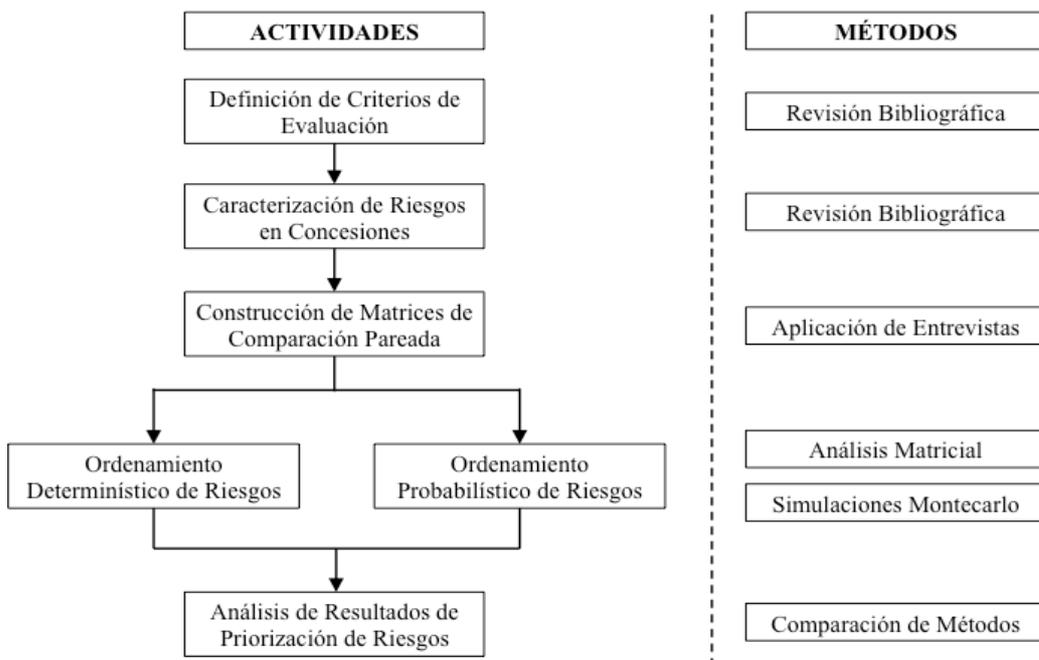


Figura 8. Proceso de trabajo para la priorización de riesgos de concesiones viales.

Fuente: Elaboración propia.

4.1 Criterios de Evaluación de Riesgos en Concesiones Viales

Para priorizar los riesgos en contratos de concesiones se deben identificar los criterios de evaluación por parte de los involucrados en una APP. En este caso, los criterios de evaluación corresponden a los aspectos regulatorios de las concesiones considerados en una asignación de riesgos de este tipo de contratos.

Para la estructura de este modelo de priorización de riesgos se utilizarán los criterios de evaluación de Clifton y Duffield (2006), que identifican los principales aspectos considerados por el regulador en el diseño de un contrato de APP. Estos aspectos se agrupan en cuatro criterios de evaluación: (1) comerciales, (2) financieros, (3) técnicos y (4) sociales, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Criterios de evaluación y aspectos a considerar en la asignación de riesgos en APP.

Fuente: Adaptado de Clifton y Duffield (2006).

Criterio de Evaluación	Aspectos
COMERCIALES (condiciones del acuerdo)	Términos y condiciones Condiciones especiales Planificación Pronósticos de demanda Expropiaciones
FINANCIEROS	Capital Intereses financieros Cargos por servicio Flujos de caja Valor de la concesión
TÉCNICOS	Estándares de servicio en el ciclo de vida Nivel de tecnología Impacto ambiental Seguridad y durabilidad del activo Condición y nivel de servicio de la infraestructura
SOCIALES	Beneficio social neto Asuntos de equidad Utilización del suelo Externalidades

4.2 Caracterización de Riesgos Identificados en Concesiones Viales

A partir de la experiencia adquirida por los actores claves de las APP en Chile y de una revisión de literatura, resulta posible identificar 10 riesgos principales en los proyectos de concesiones viales en Chile (Iturra, 2016). Estos 10 riesgos son ordenados o priorizados en este trabajo mediante el método multicriterio AHP.

Osei-Kyei y Chan (2015) hicieron una revisión de literatura de 27 publicaciones para identificar los principales factores de éxito de un proyecto de APP a nivel internacional. Los 10 riesgos señalados por Iturra (2016) para Chile se encuentran dentro de los 57 factores identificados por Osei-Kyei y Chan (2015). A continuación, se describe en detalle cada uno de los 10 riesgos a ser priorizados.

a) Incompletitud de la Ingeniería

La mayor parte de los contratos de concesión de proyectos viales en Chile se licitan con anteproyecto referencial. La modalidad de contrato DBOT (*Design, Build, Operate and Transfer*) le asigna al Concesionario la responsabilidad de realizar la ingeniería de detalle del proyecto, la cual se debe basar en el anteproyecto obtenido de la etapa preinversional.

La incertidumbre propia de estos proyectos de ingeniería puede generar que al realizar los estudios de ingeniería de detalle se identifiquen aspectos no contemplados en el anteproyecto referencial. Esto se puede traducir en mayores inversiones y modificaciones de contratos, principalmente durante las etapas de diseño y/o construcción.

Las Bases de Licitación y la Ley de Concesiones de Obras Públicas establecen mecanismos para implementar modificaciones en la ingeniería del proyecto. Sin embargo, la aprobación de dichos cambios no siempre es rápida, puesto que tales cambios pueden implicar una modificación en el contrato. Esto origina una serie de requerimientos para aprobar la modificación, como son los acuerdos con las comunidades potencialmente afectadas, negociaciones entre el Estado y el Concesionario, o para obtener financiamiento adicional. Lo anterior se traduce en que la aprobación y realización de tales modificaciones resulte de mayor costo tanto para el Estado como para el Concesionario.

b) Atraso en Expropiaciones

Uno de los principales riesgos en concesiones viales es el atraso de las expropiaciones, especialmente en los terrenos no contemplados en el anteproyecto referencial. En los proyectos viales, los terrenos se expropián conforme a la Ley Orgánica de Procedimiento de Expropiaciones (Decreto Ley N°2.186 de 1978 y sus modificaciones). Todos los desembolsos asociados a las expropiaciones son de cargo del Concesionario. No obstante, el Estado podrá concurrir total o parcialmente al pago de las expropiaciones si así lo establecieren las Bases de Licitación, tal como lo señala el Decreto Supremo N° 900 de 1996 y sus posteriores modificaciones.

La incertidumbre asociada a los plazos del proceso de expropiación de terrenos es clave en el éxito de un proyecto concesionado. La demora en las expropiaciones puede impactar negativamente la rentabilidad social y privada del proyecto, ya que genera atrasos en el comienzo de la etapa de explotación de la concesión, reduciendo la captura de beneficios sociales y privados.

Este riesgo está estrechamente relacionado con la Incompletitud de la Ingeniería, pues esta última genera incertidumbre en la localización y magnitud de los terrenos a

expropiar, dificultando la planificación del proceso. Esto se ve reflejado, por ejemplo, en la reserva de la faja fiscal para futuras ampliaciones en la etapa de operación. Asimismo, la falta de planificación puede generar problemas sociales-territoriales asociados a las expropiaciones no contempladas previamente, las que pueden provocar el rechazo de las comunidades al proyecto y el consecuente retraso del inicio de obras.

c) Atraso en Aprobación de Estudios de Impacto Ambiental

El avance que ha presentado la normativa e institucionalidad ambiental en Chile desde 1993 para la aprobación ambiental de proyectos de infraestructura ha sido significativo. Esto resulta positivo y necesario para el desarrollo sustentable del país. El emplazamiento de obras viales busca alterar positivamente la calidad de vida de las comunidades involucradas. No obstante, el desarrollo del proyecto también puede generar impactos ambientales negativos, algunos de los cuales pueden no haber sido contemplados en la etapa de preinversión del proyecto.

En caso de que un proyecto vial concesionado deba ser ingresado al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), se le exigen altos estándares de evaluación ambiental, lo que conlleva una alta incertidumbre respecto a la duración del proceso de aprobación de los estudios asociados. Esto se ve acrecentado en la modalidad de contrato DBOT, en que el Estado proporciona la ingeniería referencial del proyecto, y el Concesionario debe ejecutar la ingeniería de detalle, la construcción, operación y transferencia. En dicha situación, se requerirá de la ingeniería de detalle del proyecto para la emisión de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA), por lo que, si las Bases de Licitación así lo establecen, será cargo del Concesionario obtener la RCA favorable. El atraso en la aprobación ambiental del proyecto puede alterar significativamente los plazos de construcción y explotación de la obra, generando con esto impactos relevantes en la rentabilidad de la concesión, tanto privada como social.

d) Conflictos con Comunidades

El término comunidades se refiere a grupos de ciudadanos heterogéneos en su naturaleza y expectativas, tales como juntas de vecinos, organizaciones ambientales, entre otros. Las comunidades involucradas son protagonistas del éxito de una concesión vial, pues el objetivo de una obra pública es que estas sean receptoras de los beneficios asociados al desarrollo del proyecto. Sin embargo, las obras públicas también pueden conllevar externalidades negativas que pueden perjudicar y significar un costo importante para algunas comunidades, implicando un potencial conflicto. Por lo mismo, si no se cuenta con la viabilidad social-territorial del proyecto, tampoco será factible desarrollar la concesión vial.

La Dirección General de Concesiones de Chile (DGC) realiza participaciones territoriales en los proyectos concesionados. Sin embargo, no todos los involucrados en el proyecto asisten a estas instancias de participación ciudadana. Es en plena ejecución del proyecto cuando las preocupaciones se manifiestan, generando un problema para el Estado y el Concesionario. Es por esta razón que los conflictos con comunidades son

considerados por los actores claves como uno de los principales riesgos en los proyectos viales de concesiones.

e) Incertidumbre en la Estimación de la Demanda de Tráfico

Otro factor de riesgo en las APP se asocia a la incertidumbre en las estimaciones de demanda de tráfico. Una proyección de los niveles de tránsito con demasiada incertidumbre tiene implicancias directas en la rentabilidad social y privada de una concesión vial. Si la demanda crece abruptamente, la condición estructural y funcional del pavimento disminuirá a una mayor tasa. Esto incrementará los costos de mantenimiento para lograr cumplir con los umbrales de servicio establecidos en el contrato. Junto a esto, un aumento importante imprevisto en la demanda de tráfico también puede producir que la capacidad se vea superada, ocasionando saturación y afectando el nivel de servicio otorgado por la infraestructura a los usuarios. En contraparte, una menor demanda respecto a la estimada puede reducir el beneficio social y el ingreso del Concesionario.

Durante la etapa de licitación, la Dirección General de Concesiones (DGC) proporciona antecedentes para que el Concesionario realice sus propias proyecciones de la demanda. El Concesionario utiliza esta información de referencia para complementarla con sus estudios preliminares. A pesar de la mejora evidenciada en las proyecciones de tráfico gracias a la experiencia adquirida en los últimos 10 años, la incertidumbre en la estimación aun es considerada como un factor de riesgo de un proyecto de concesión vial.

f) Rigidez y Conflictos Contractuales

Los contratos de concesiones son estipulados desde su inicio en un contexto rígido y bajo un marco jurídico estructurado. Un contrato rígido es aquel que no tiene la capacidad de adaptarse adecuadamente a las condiciones cambiantes del sistema. Esto se contrapone a un contexto de incertidumbre propio de las obras viales de gran magnitud, las que son propensas a sufrir modificaciones por cambios en las condiciones del sistema durante su ciclo de vida. La rigidez contractual puede dificultar la adopción de modificaciones que conlleven mejoras y/o actualizaciones en las etapas de construcción y operación del proyecto vial concesionado.

Un contexto contractual rígido induce a que las modificaciones en la concesión contrapongan intereses, lo que dificulta generar acuerdos. La rigidez contractual impide internalizar la incertidumbre, complicando la búsqueda de fórmulas de solución de discrepancias. La experiencia en APP en Chile ha evidenciado avances en materia de flexibilidad contractual, como es el caso del plazo variable de la concesión basada en el Ingreso Total de Concesión (Engel, Fischer y Galetovic, 2014). No obstante, la rigidez contractual es aun percibida como uno de los principales riesgos de este tipo de proyectos.

g) Falta de Involucramiento en Compromisos Contractuales

La APP es una alianza entre el sector público y el privado que busca dotar a los países de infraestructura mediante una asignación eficiente de riesgos entre los participantes de

dicha asociación. Por ser una alianza, los dos socios (Estado y Concesionario) deben trabajar de manera armonizada y cumplir su rol dentro de esta sociedad público-privada. En este sentido, el sector público no debe asumir una función de mandante tradicional, ni el sector privado la función de un contratista tradicional, pues la alianza se transformaría en una sociedad de intereses contrapuestos.

Los actores claves de APP en Chile perciben que el menor grado de involucramiento e injerencia por parte de alguno de los dos socios es un factor de riesgo en las concesiones viales. La falta de adopción del rol de socio por parte del Estado y/o el Concesionario en la alianza puede provocar que las relaciones contractuales sufran algún grado de tensión, lo que resulta perjudicial para el desarrollo de la concesión.

h) Indefinición de una Política Tarifaria

Desde la primera generación de autopistas concesionadas en Chile, el mecanismo primario de financiamiento es “el que usa paga”, pues el usuario paga un peaje por el servicio que presta la infraestructura. Sin embargo, los usuarios de los proyectos concesionados no necesariamente conocen los aspectos técnicos y complejidades propias de la conformación de las tarifas de cobro en cada tramo concesionado. En este sentido, algunos usuarios creen que están asumiendo costos de otros. Por ejemplo, en el caso de un vehículo de carga respecto a un automóvil. En otros casos, los usuarios consideran que están pagando una tarifa mayor al costo marginal que le significa al Concesionario el uso de la vía por parte de un vehículo. Un claro ejemplo de esto es lo que sucede en la Ruta 5, respecto de los distintos factores de cobro para generar subsidios cruzados (Cruz, González y Guzmán, 2017).

Es así como el diagnóstico general entregado por los expertos y actores claves en concesiones viales converge en la falta de definición de una política tarifaria transparente que entregue información clara a los usuarios respecto a los métodos de estimación de tarifas de uso. Esta limitación impide fortalecer la disposición de pago de los usuarios, los cuales son cada vez más exigentes en materia de transparencia y nivel de servicio. Además, puede generar conflictos entre las comunidades, el Concesionario y el Estado.

i) Descoordinación entre Instituciones del Estado

De acuerdo a la opinión de los actores claves en APP en Chile, una de las limitaciones de la implementación del sistema de concesiones en Chile es la descoordinación entre organismos del Estado. Los involucrados en concesiones consideran que actualmente existe una falta de articulación interinstitucional entre los servicios y entidades públicas que tienen relación directa o indirecta con el sistema de concesiones, lo que puede generar impactos negativos en la rentabilidad del proyecto.

Para el éxito de un contrato de concesión vial se requiere de un trabajo coordinado de parte de todas las entidades públicas involucradas, tanto a nivel central como local. Si no se armonizan los intereses de los Ministerios de Obras Públicas, de Transportes y Telecomunicaciones, de Vivienda y Urbanismo, de Desarrollo Social y Familia, Gobiernos Regionales, Municipalidades, entre otros, el proyecto de concesión será más

propenso a verse afectado por cambios de diseño, conflictos contractuales, atrasos y con ello mayores costos sociales y privados.

j) Acoplamiento al Ciclo Político

Las obras de infraestructura públicas son, por su naturaleza, proyectos de largo plazo. La duración de su ciclo de vida (idea, preinversión, diseño, construcción, explotación) es ampliamente superior a un periodo de gobierno. Es por esto que la oferta de proyectos ejecutables mediante el mecanismo de APP debe formar parte de un plan de largo plazo que considere las demandas de infraestructura del país.

La inexistencia de un plan estratégico de infraestructura totalmente definido por parte del Estado es percibida como un riesgo para el éxito del sistema de concesiones viales en Chile. La falta de planificación a largo plazo desacoplada del ciclo político genera constantes cambios en la priorización de proyectos a ejecutar. Esto se traduce en una incertidumbre en los Concesionarios y potenciales usuarios respecto a la voluntad política en la materialización de los proyectos concesionados.

4.3 Construcción de Matrices de Comparación Pareada

Para este proceso de priorización, las matrices de comparación pareada se construyen en base al juicio de expertos. Para ello se diseñó un cuestionario destinado a determinar las valoraciones de los expertos de los criterios de evaluación y de las alternativas (riesgos) en función de cada criterio. La encuesta consta de dos partes. La primera busca ordenar los 4 criterios de evaluación de riesgos en concesiones viales (comerciales, financieros, técnicos y sociales). La segunda tiene por objetivo priorizar o *rankear* las 10 alternativas (riesgos) para cada criterio de evaluación. En la segunda parte se utiliza una escala de valores que representa la magnitud de impacto de cada riesgo en el criterio correspondiente. Ambas partes de la encuesta tienen como producto final matrices de comparación pareada asociadas a la priorización de los 4 criterios y los 10 riesgos, respectivamente. La encuesta completa se encuentra en el Anexo 2.

La encuesta se aplicó a 45 actores clave en el sistema de concesiones viales en Chile, agrupados en 4 conjuntos dependiendo del rol que ha desempeñado el individuo en la APP: (1) Dirección General de Concesiones (DGC) y Consejo de Concesiones; (2) Gobierno Central; (3) Concesionarios y Asociación de Concesionarios de Obras de Infraestructura Pública A.G. (COPSA); (4) Consultores, Bancos de Financiamiento y Consejo de Políticas de Infraestructura (CPI). Esta agrupación de actores permite determinar las percepciones de los principales grupos de involucrados en materia de evaluación de riesgos. En la Tabla 4 se muestra la información principal de cada grupo de expertos. En el Anexo 3 se presenta el nombre, grupo, cargo y años de experiencia en APP de cada uno de los 45 expertos encuestados.

Tabla 4. Grupos de actores claves encuestados.
Fuente: Elaboración propia.

Grupo de Expertos	Institución	Cantidad de Encuestados	Años Exp. APP
DGC y Consejo de Concesiones	Dirección General de Concesiones (DGC)	8	19
	Consejo de Concesiones	4	15
Gobierno Central	Ministerio de Obras Públicas (MOP)	8	15
	Ministerio de Hacienda (MH)	2	4
	Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT)	1	5
Concesionarios y COPSA	Empresas Concesionarias	8	19
	COPSA A.G.	2	10
Consultores, Banca y CPI	Consultores	7	19
	Banca e Instituciones Financieras	3	9
	Consejo de Políticas de Infraestructura	2	13

El promedio de años de experiencia en APP de la muestra total de expertos entrevistados es de 16 años. El promedio de años de experiencia en APP del grupo DGC y Consejo de Concesiones es 18 años, del grupo Gobierno Central es 12 años, del grupo Concesionarios y COPSA es 17 años y del grupo Consultores, Banca y CPI es 15 años.

5. Resultados de la Priorización de Riesgos en Concesiones Viales

Teniendo en cuenta los 4 criterios de evaluación y los 10 riesgos definidos anteriormente, el modelo de jerarquización analítica puede ser estructurado. Además, a partir de las respuestas entregadas por los 45 expertos encuestados se puede determinar el vector de priorización de riesgos asociados a las concesiones viales en Chile.

Para la modelación y generación de resultados se utilizó el software *Total Decision*, el cual permite realizar una priorización determinística y otra probabilística de los riesgos en estudio.

5.1 Priorización Determinística de Riesgos

A partir de las respuestas de la primera parte del cuestionario aplicado a los expertos, y su posterior análisis matricial asociado, se obtuvo la importancia relativa de los criterios, lo cual permite posteriormente ordenar los 10 riesgos identificados. Los resultados de la valoración de criterios de evaluación de riesgos de APP tanto para el total de entrevistados como para cada grupo de expertos se presentan en la Figura 9.

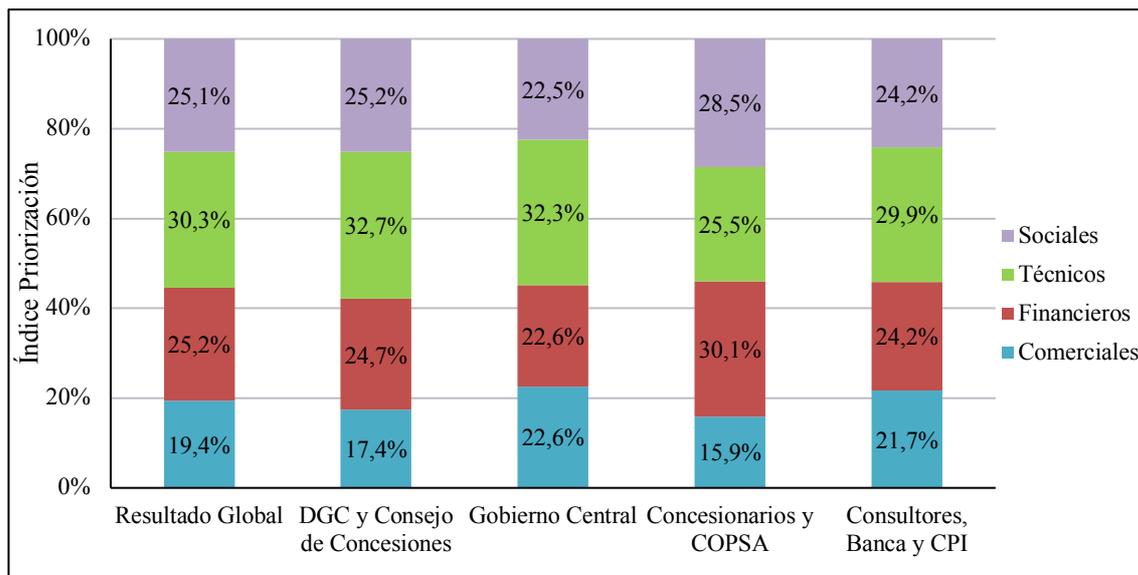


Figura 9. Índice de priorización determinística de criterios de evaluación de riesgos por grupo de expertos.

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 9 se observa que el criterio de evaluación de riesgos más importante para el conjunto de expertos es el aspecto técnico, con un peso relativo de 30,3%, mientras que el menos importante es el criterio comercial (19,4%). Se destaca que el grupo Dirección General de Concesiones (DGC) y Consejo de Concesiones es el que más valora el criterio técnico en la priorización (32,7%), seguido por el grupo del Gobierno Central (32,3%). En contraparte, el grupo Concesionarios y COPSA es el que menos relevancia relativa le da a este criterio (25,5%).

Respecto a los criterios financieros, se destaca que estos son el principal aspecto a considerar en la evaluación de riesgos por parte del grupo Concesionarios y COPSA (30,1%). Este grupo también asigna una alta ponderación a los criterios sociales (28,5%), mientras que una baja ponderación a los comerciales (15,9%). Finalmente, en la Figura 9 se observa que Consultores, Banca y CPI es el grupo que tiene una ponderación más balanceada para los cuatro criterios en la evaluación de riesgos en APP de vialidad.

Posteriormente, conocido el vector de priorización de los criterios de evaluación y la matriz de valoración de riesgos por cada criterio, se puede obtener el vector de priorización global de riesgos. Al ordenar este vector se obtiene el ranking de los riesgos de los proyectos viales de APP, lo que se presenta en la Figura 10.

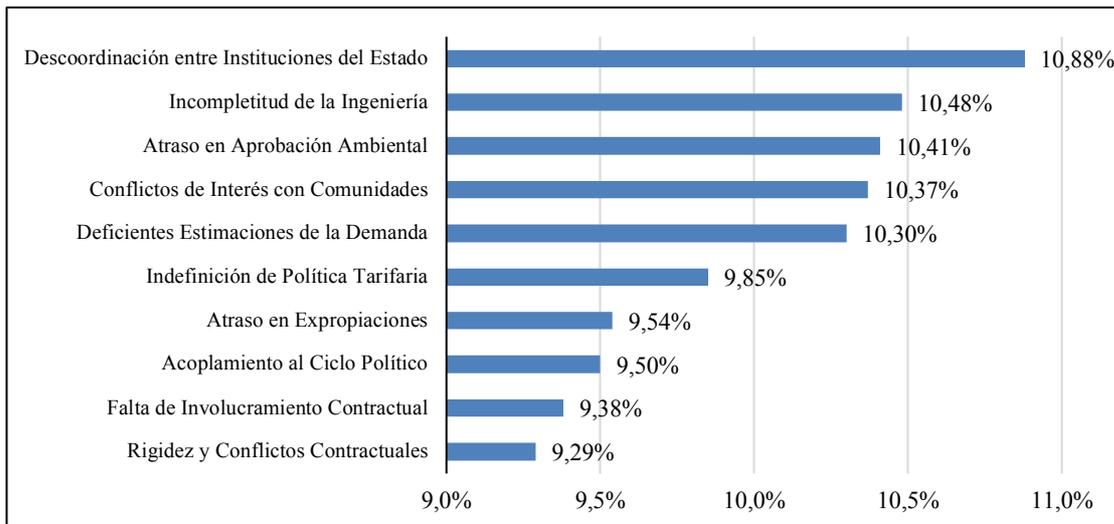


Figura 10. Índice de priorización determinística global de riesgos.

Fuente: Elaboración propia.

Tras la aplicación del método AHP se obtuvo que, para los 45 expertos entrevistados, el riesgo más relevante de los proyectos viales bajo el modelo de concesiones en Chile es la Descoordinación entre Instituciones del Estado (10,88%), seguido por Incompletitud de la Ingeniería (10,48%) y del Atraso en Aprobación Ambiental (10,41%). Cabe destacar que la Descoordinación entre Instituciones del Estado supera por 0,40 puntos porcentuales a la segunda alternativa, mientras que entre la segunda y la quinta alternativa hay solo 0,18 puntos porcentuales de diferencia. Esto demuestra similitud en la valoración de los riesgos Incompletitud de la Ingeniería, Atraso en Aprobación Ambiental, Conflictos de Interés con Comunidades y Deficientes Estimaciones de la Demanda.

El sexto lugar del vector de priorización de riesgos es ocupado por la Indefinición de Política Tarifaria (9,85%), la que está 0,45 puntos porcentuales por debajo de las Deficientes Estimaciones de la Demanda. El ranking es completado por el Atraso en Expropiaciones (9,54%), Acoplamiento al Ciclo Político (9,50%), Falta de Involucramiento Contractual (9,38%) y Rigidez y Conflictos Contractuales (9,29%), lo que presentan similares índices de relevancia en la priorización de riesgos.

La Razón de Consistencia (*RC*) máxima obtenida para el modelo global de priorización de riesgos fue 3,0%. Dado que este valor es menor a 10%, se concluye que las matrices de juicio de experto del modelo son consistentes (Saaty, 1987).

Mediante la aplicación del método AHP también se puede determinar la contribución de cada criterio de evaluación en el índice de priorización de cada riesgo. Esto permite conocer el criterio (comercial, financiero, técnico o social) que más aportó en la valoración de cada riesgo debido a su alto impacto en la evaluación. Este análisis de contribución es presentado en la Figura 11.

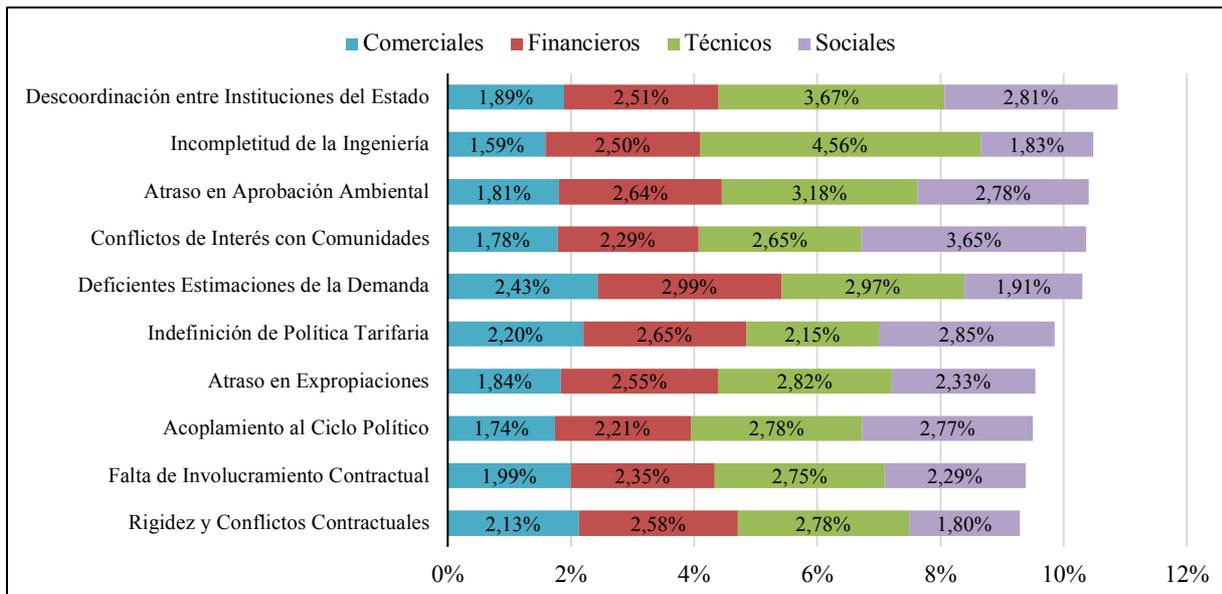


Figura 11. Contribución de criterios de evaluación en el índice de priorización global de riesgos.

Fuente: Elaboración propia.

En todos los riesgos evaluados por los expertos, el criterio técnico fue el mayor contribuyente en su valoración, a excepción de Conflictos de Interés con Comunidades y Deficientes Estimaciones de la Demanda. Esto se debe a que para los expertos el criterio técnico es el más relevante en la evaluación (Figura 9). Este criterio toma especial relevancia en la valoración de la Incompletitud de la Ingeniería, pues este riesgo impacta fuertemente la calidad técnica y la serviciabilidad del proyecto.

El criterio financiero, por su parte, tiene una mayor contribución en Deficientes Estimaciones de la Demanda y Atraso en Expropiaciones. El primer caso era esperable, pues una incorrecta proyección del tránsito puede impactar intensamente la rentabilidad económica de la concesión. Esto mismo sucede para el caso del criterio comercial. Este último criterio también tiene una contribución importante en la valoración de la Indefinición de la Política Tarifaria, pues esta juega un rol clave en la aceptación del sistema de APP por parte de los involucrados. Finalmente, el criterio social tiene la mayor contribución para el caso de Conflictos de Interés con Comunidades, pues este riesgo puede generar impactos en el beneficio social neto del proyecto, asuntos de equidad y externalidades.

La priorización determinística de los riesgos también puede analizarse de manera desagregada por cada grupo de expertos, lo cual se representa en la Figura 12. Esto permite observar las variaciones en la valoración de los riesgos en función de las características propias de cada grupo de expertos.

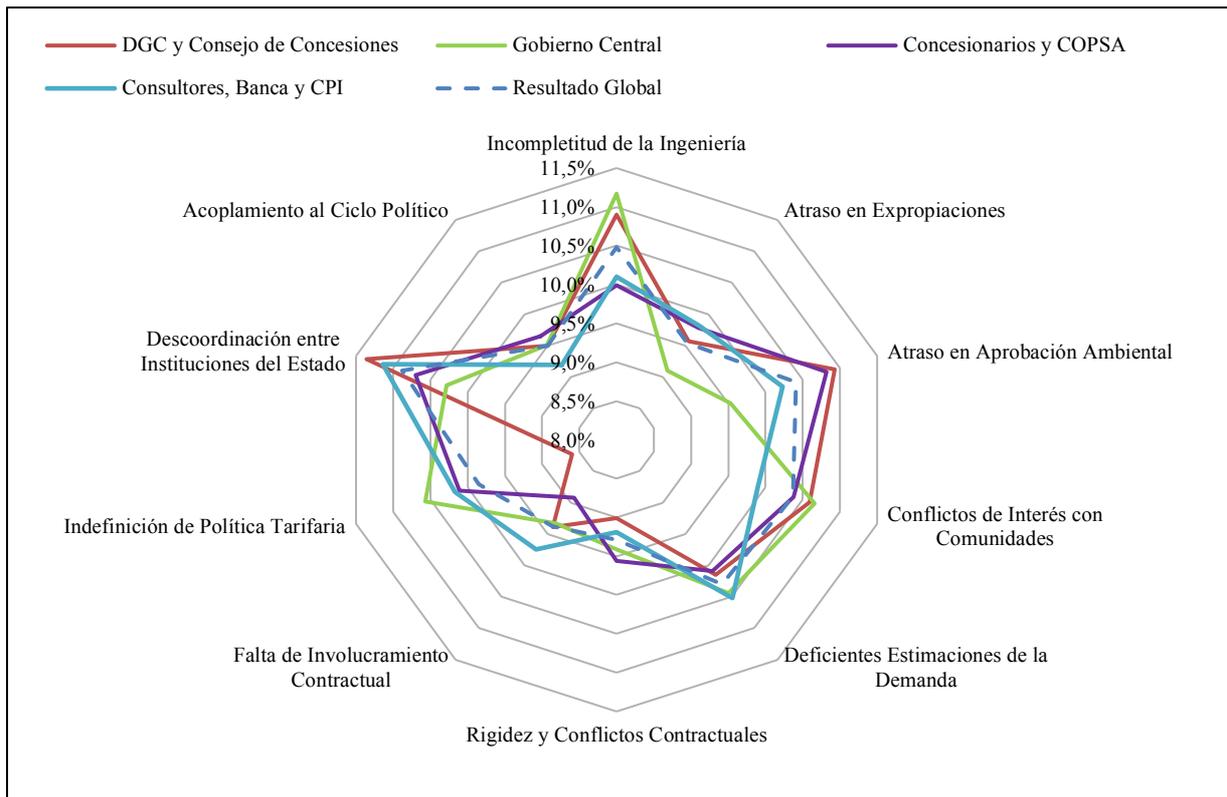


Figura 12. Índice de priorización determinística de riesgos por grupo de expertos.

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 12 se observa que para la Dirección General de Concesiones (DGC) y el Consejo de Concesiones el riesgo más relevante en el sistema de concesiones viales es la Descoordinación entre Instituciones del Estado (11,36%), seguido del Atraso en Aprobación Ambiental (10,93%) y la Incompletitud de la Ingeniería (10,91%). Para los entrevistados del Gobierno Central, la Incompletitud de la Ingeniería es el riesgo más valorado (11,17%), seguida de Conflictos de Interés con Comunidades (10,66%) e Indefinición de Política Tarifaria (10,57%).

Por su parte, para los Concesionarios y COPSA el riesgo más importante es el Atraso en Aprobación Ambiental (10,82%), por sobre la Descoordinación entre Instituciones del Estado (10,70%) y los Conflictos de Interés con Comunidades (10,38%). Finalmente, para el grupo Consultores, Banca y CPI, la Descoordinación entre Instituciones del Estado es el riesgo más relevante (11,13%), por encima de Deficientes Estimaciones de la Demanda (10,52%) y Atraso en Aprobación Ambiental (10,23%).

Estas diferencias en la valoración de riesgos por cada grupo de encuestados responden a sus experiencias, características e intereses propios. Por ejemplo, la experiencia de los entrevistados del grupo Concesionarios y COPSA indica que la Aprobación Ambiental es el principal factor de riesgo de un contrato de concesión vial. Sin embargo, este riesgo está en el sexto puesto del ranking de priorización para el caso del Gobierno Central. Este último grupo considera que la Incompletitud de la Ingeniería es el riesgo más relevante. A pesar de estas distintas percepciones, se desprende que existe consenso

en que la Descoordinación entre Instituciones del Estado y la Incompletitud de la Ingeniería son riesgos de primer orden en el sistema de concesiones viales de Chile.

5.2 Priorización Probabilística de Riesgos

Complementariamente, se realizó una priorización probabilística de riesgos en APP de vialidad. Esta se realizó mediante simulaciones de Montecarlo, las que permiten incorporar la variabilidad de las ponderaciones de los expertos en la evaluación de los elementos.

Las simulaciones realizadas incorporan variabilidad tanto en la matriz de valoración de los criterios como en las matrices de valoración de riesgo por criterio de evaluación. Para ello se considera una distribución de probabilidad triangular en los valores de las matrices de comparación pareada. Los parámetros de la distribución triangular (mínimo, máximo y moda) de cada entrada de las matrices se obtuvieron a partir de las valoraciones de los 45 expertos encuestados. Los parámetros obtenidos para el caso de la valoración de criterios de evaluación se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros de distribución triangular para valoración de criterios de evaluación.

Fuente: Elaboración propia.

Criterio de Evaluación	Comerciales	Financieros	Técnicos	Sociales
Comerciales	1	T(0,25; 3; 1)	T(0,2; 2; 1)	T(0,2; 3; 1)
Financieros		1	T(0,2; 4; 1)	T(0,2; 4; 1)
Técnicos			1	T(0,33; 6; 1)
Sociales				1

Para el caso de las valoraciones de riesgos por criterio de evaluación se utilizan los parámetros de distribución de la Tabla 6. En ella la ponderación de pares está expresada en porcentajes. El impacto nulo del riesgo es 0% y el impacto más fuerte es de 100%.

Tabla 6. Parámetros de distribución triangular para valoración de riesgos por criterio de evaluación.

Fuente: Elaboración propia.

Riesgo	Comerciales			Financieros			Técnicos			Sociales		
	Mín	Máx	Moda	Mín	Máx	Moda	Mín	Máx	Moda	Mín	Máx	Moda
Incompletitud de la Ingeniería	0%	95%	60%	0%	100%	50%	40%	100%	80%	0%	90%	20%
Atraso en Expropiaciones	10%	100%	40%	5%	100%	70%	10%	90%	50%	0%	90%	60%
Atraso en Aprobación Ambiental	10%	100%	60%	10%	100%	90%	5%	100%	60%	5%	100%	60%
Conflictos de Interés con Comunidades	0%	100%	40%	0%	100%	80%	0%	100%	60%	30%	100%	80%
Deficientes Estimaciones de la Demanda	25%	100%	80%	0%	100%	90%	10%	90%	50%	0%	80%	30%
Rigidez y Conflictos Contractuales	10%	100%	70%	20%	100%	90%	10%	100%	50%	0%	100%	10%
Falta de Involucramiento en Contractual	5%	100%	70%	5%	100%	60%	0%	100%	40%	0%	100%	60%
Indefinición de una Política Tarifaria	20%	100%	80%	20%	100%	70%	0%	100%	40%	0%	100%	50%
Descoordinación entre Instituciones del Estado	10%	100%	50%	15%	100%	60%	5%	100%	80%	0%	100%	60%
Acoplamiento al Ciclo Político	0%	100%	50%	10%	100%	70%	0%	100%	60%	0%	100%	60%

A partir de estas distribuciones de probabilidad se realizaron 100.000 corridas mediante el método de simulación de Montecarlo, obteniendo como resultado histogramas del índice de priorización para cada uno de los 10 riesgos en estudio. En la Figura 13 se presentan los histogramas de frecuencia absoluta para cada riesgo en función del porcentaje o índice de priorización. Mientras más a la derecha esté el histograma del riesgo, mayor es la relevancia del riesgo en la valoración. En la sección Anexos se muestran los histogramas de distribución de manera separada para cada riesgo y también de manera acumulada (curva S).

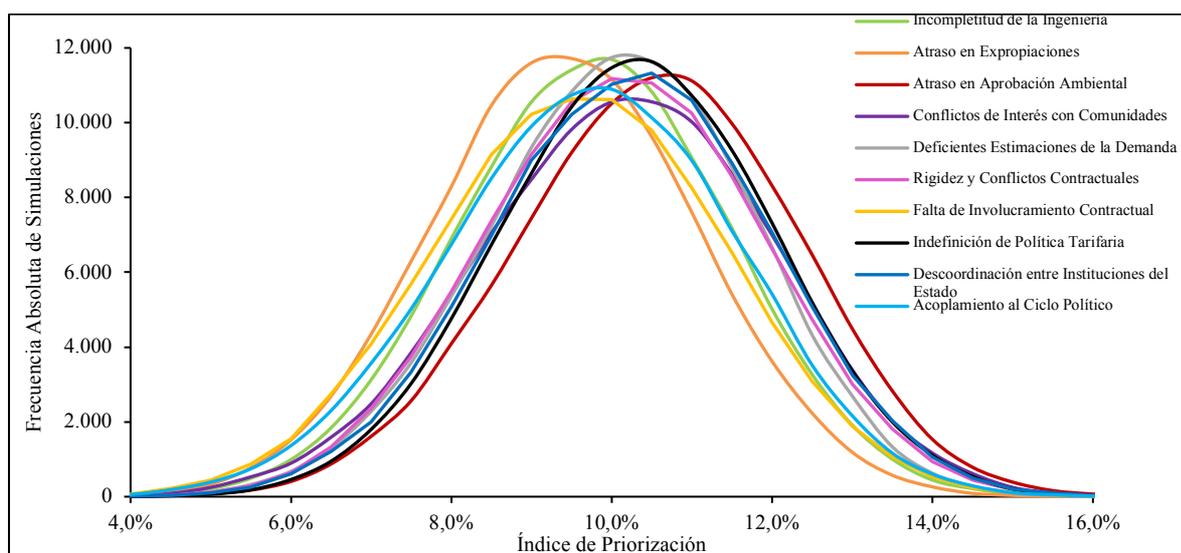


Figura 13. Histogramas de distribución probabilística de índice de priorización de riesgos.

Fuente: Elaboración propia.

Para analizar numéricamente los resultados obtenidos en las simulaciones se presenta la Tabla 7, la cual muestra el promedio, la desviación estándar y el intervalo de confianza al 90% del índice de priorización para cada riesgo evaluado.

Tabla 7. Resultados del índice de priorización probabilístico de riesgos.

Fuente: Elaboración propia.

Riesgo	<i>Iteraciones</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desv. Est.</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
Incompletitud de la Ingeniería	100.000	9,77%	1,68%	7,00%	12,52%
Atraso en Expropiaciones	100.000	9,40%	1,66%	6,67%	12,15%
Atraso en Aprobación Ambiental	100.000	10,55%	1,75%	7,63%	13,37%
Conflictos de Interés con Comunidades	100.000	10,16%	1,83%	7,10%	13,12%
Deficientes Estimaciones de la Demanda	100.000	10,09%	1,66%	7,29%	12,76%
Rigidez y Conflictos Contractuales	100.000	10,14%	1,72%	7,29%	12,97%
Falta de Involucramiento en Contractual	100.000	9,59%	1,81%	6,59%	12,54%
Indefinición de una Política tarifaria	100.000	10,31%	1,68%	7,53%	13,07%
Descoordinación entre instituciones del Estado	100.000	10,24%	1,72%	7,39%	13,06%
Acoplamiento al Ciclo Político	100.000	9,74%	1,80%	6,73%	12,65%

De la Tabla 7 se aprecia que el riesgo con mayor promedio en la valoración de las 100.000 iteraciones corresponde a Atraso en Aprobación Ambiental (10,55%). En el segundo lugar del ranking probabilístico está la Indefinición de una Política Tarifaria (10,31%), y en el tercer lugar la Descoordinación entre Instituciones del Estado (10,24%). De acuerdo a este ranking, el último lugar es ocupado por el Atraso en Expropiaciones (9,40%). De la Tabla 7 también se destaca que el riesgo con mayor variabilidad en su valoración es Conflictos de Interés con Comunidades, seguida de Falta de Involucramiento Contractual. En contraparte, el riesgo de menor variabilidad en las simulaciones es Atraso en Expropiaciones.

Respecto a la Razón de Consistencia (*RC*) de las simulaciones de Montecarlo, se destaca que el valor promedio de este en las 100.000 iteraciones es 5,1%. De esta forma, se desprende que las matrices de juicio de experto de las simulaciones son consistentes.

5.3 Comparación entre los Métodos de Priorización

Para culminar el análisis de priorización de riesgos de proyectos de concesiones viales en Chile se realizó una comparación entre los resultados de la priorización de riesgos mediante los métodos determinístico y probabilístico. La Figura 14 sintetiza esta comparación. Para el caso del método probabilístico se presenta el promedio del índice de priorización de riesgo obtenido de las simulaciones.

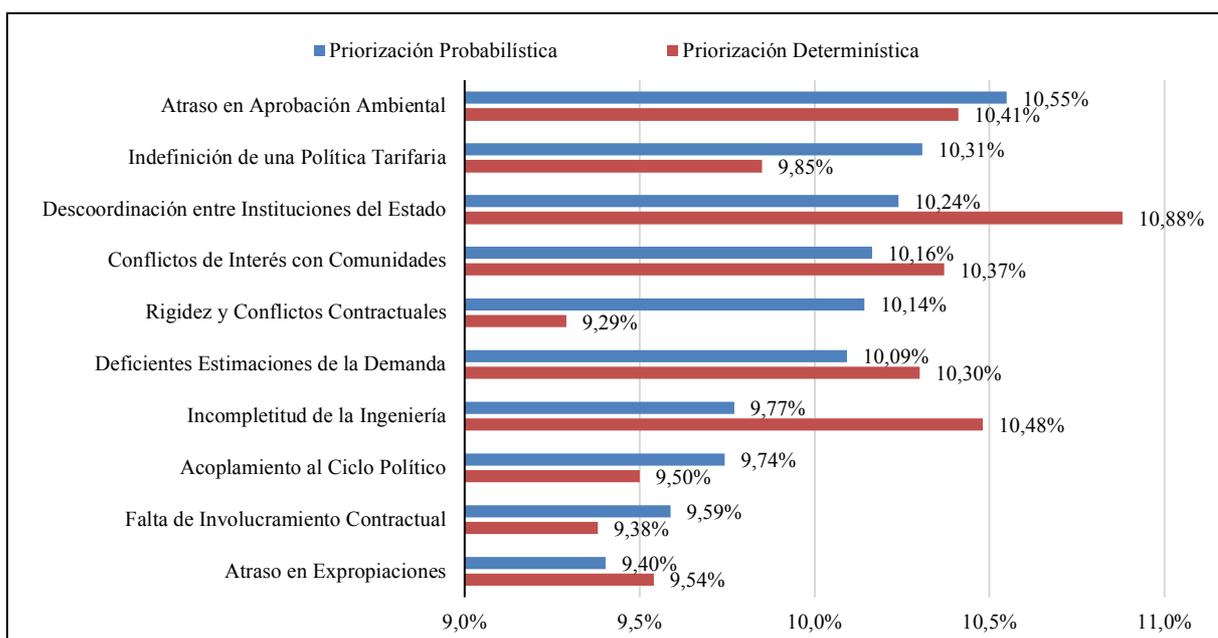


Figura 14. Comparación entre índice de priorización probabilístico y determinístico de riesgos.

Fuente: Elaboración propia.

Al incorporar la variabilidad en las valoraciones de los evaluadores se observa que el ordenamiento de los riesgos cambia significativamente respecto al análisis determinístico. Esta variación se debe a que en el caso determinístico las entradas de las matrices de comparación pareada del grupo de 45 evaluadores se obtienen a partir de la media geométrica de las entradas individuales, mientras que en el caso probabilístico las

matrices se obtienen de simulaciones. Estas permiten internalizar la incertidumbre en la respuesta de los encuestados. En este sentido, la priorización probabilística entrega un ordenamiento de riesgos más preciso, pues simula la participación de 100.000 evaluadores en el proceso de priorización multicriterio, evitando posibles singularidades.

Al analizar la Figura 14 se destaca la diferencia entre los valores obtenidos de forma determinística respecto a los obtenidos probabilísticamente. Algunos de los riesgos tienen un alto peso relativo de prioridad en la evaluación determinística y un bajo peso relativo en el análisis probabilístico, como es el caso de la Incompletitud de la Ingeniería. El caso contrario ocurre con Rigidez y Conflictos Contractuales.

Ahora bien, resulta importante notar que algunos riesgos tienen un alto nivel de prioridad independiente del tipo de análisis. Tal es el caso de la Descoordinación entre Instituciones del Estado y Atraso en Aprobación Ambiental. En contraparte, se identifican riesgos con baja prioridad para los dos tipos de análisis, como es el Acoplamiento al Ciclo Político, Falta de Involucramiento Contractual y Atraso en Expropiaciones.

6. Comentarios Finales y Conclusiones

En este trabajo se aplicó el método de valoración multicriterio denominado Proceso de Jerarquización Analítica (AHP) para priorizar u ordenar los principales riesgos asociados a las concesiones viales en Chile. Para ello se utilizó el juicio de 45 actores clave de diversos grupos involucrados en asociaciones público-privadas (APP), tales como la Dirección General de Concesiones (DGC), otras direcciones del Ministerio de Obras Públicas (MOP), Concesionarios, Consultores, la Banca, entre otros.

En este trabajo se identificaron y priorizaron 10 riesgos en los proyectos de concesiones viales en Chile: (1) Incompletitud de la Ingeniería, (2) Atraso en Expropiaciones, (3) Atraso en Aprobación Ambiental, (4) Conflictos de interés con Comunidades, (5) Deficientes Estimaciones de la Demanda, (6) Rigidez y Conflictos Contractuales, (7) Falta de Involucramiento con Contractual, (8) Indefinición de una Política Tarifaria, (9) Descoordinación entre Instituciones del Estado y (10) Acoplamiento al Ciclo Político. Estos 10 riesgos coinciden con los factores de éxito de un proyecto de APP identificados por Osei-Kyei y Chan (2015) a nivel internacional.

Para priorizar los 10 riesgos se aplicaron dos enfoques de análisis: uno determinístico y otro probabilístico. Este último permite incorporar la variabilidad de las percepciones de los expertos, logrando un ordenamiento de riesgos más preciso a partir de 100.000 simulaciones. Del análisis determinístico se concluye que la Descoordinación entre Instituciones del Estado (10,88%) es percibido como el principal riesgo en los proyectos viales bajos el modelo de concesiones en Chile. En el segundo y tercer lugar aparecen la Incompletitud de la Ingeniería (10,48%) y el Atraso en Aprobación Ambiental (10,41%), respectivamente.

Al desagregar la priorización por participantes, es posible observar las diferencias que presentan las percepciones de cada grupo de acuerdo a sus propios intereses y funciones

en las concesiones. Para los miembros del grupo Dirección General de Concesiones (DGC) y Consejo de Concesiones y el grupo conformado por las Consultoras, Bancas y CPI, el riesgo más relevante es la Descoordinación entre Instituciones del Estado; para el Gobierno Central el más importante es la Incompletitud de la Ingeniería; y para los Concesionarios y COPSA el más relevante es el Atraso en Aprobación Ambiental.

La priorización probabilística entregó como los riesgos más valorados el Atraso en Aprobación Ambiental (promedio 10,55%), seguido por Indefinición de una Política Tarifaria (promedio 10,31%) y la Descoordinación entre Instituciones del Estado (promedio 10,24%). Bajo este mismo análisis, los riesgos que presentaron mayor variabilidad en su valoración son Conflictos de Interés con Comunidades (desviación estándar 1,83%), Falta de Involucramiento Contractual (desviación estándar 1,81%) y Acoplamiento al Ciclo Político (desviación estándar 1,80%).

Tras ambos análisis, se destaca que los riesgos Descoordinación entre Instituciones del Estado y Atraso en Aprobación Ambiental tienen un alto nivel de relevancia para los actores clave en concesiones tanto para el caso determinístico como probabilístico. Por lo tanto, a partir de los resultados obtenidos en la priorización de riesgos se concluye que para fortalecer el sistema de concesiones viales en Chile se deben focalizar los esfuerzos en una mayor armonización del trabajo de los servicios y entidades regulatorias de las APP, tanto a nivel central como local. Trabajar en pos de una mayor articulación interinstitucional entre los organismos públicos involucrados en las concesiones debe ser el principal foco para mejorar la implementación del sistema de APP en vialidad en Chile. El trabajo en esta línea debe ser priorizado por sobre la mitigación de otros riesgos asociados a las concesiones viales en el país.

Respecto al Atraso en Aprobación Ambiental, se debe trabajar en agilizar los procesos de evaluación ambiental y consultas ciudadanas de parte del SEIA, siempre manteniendo los estándares de calidad exigidos. Ello debe incluir una revisión de la regulación ambiental vigente del país. Este riesgo es altamente valorado tanto por el Estado (DGC y Consejo de Concesiones) como por los Concesionarios, y puede ser asignado a cualquiera de las dos partes en las Bases de Licitaciones, por lo que resulta clave en el proceso de distribución de riesgos en el diseño del contrato de concesión.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de los 45 actores claves entrevistados para la elaboración de este estudio. Además, los autores agradecen a la empresa de consultoría de estrategia y operaciones VILENIO por su colaboración en el uso del software *Total Decision*.

8. Referencias

Aczel, J. y Saaty, T. (1983). Procedures for synthesizing ratio judgments. *Journal of Mathematical Psychology*, 27(1), 93-102.

Aczel, J. y Alsina, C. (1987). Synthesizing judgements: a functional equations approach. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 311-320.

Cafiso, S., Di Grazziano, A., Kerali, H. y Odoki, J. (2002). Multicriteria analysis method for pavement maintenance management. *Transportation Research Record*, 1816, 73-84.

Cámara Chilena de la Construcción (2017). Informe MACH 47: macroeconomía y construcción. Santiago, Chile: Gerencia de Estudios CChC.

Clifton, C. y Duffield, C. (2006). Improved PFI/PPP service outcomes through the integration of Alliance principles. *International Journal of Project Management*, 24, 573-586.

Coulter, E., Sessions, J. y Wing, M. (2006). Scheduling forest road maintenance using the Analytic Hierarchy Process and Heuristics. *Silva Fennica*, 40(1), 143-160.

Cruz, C., González, S. y Guzmán, L. (2017). Evaluación social de proyectos: un desafío país. En: *Aportes al sistema de evaluación social de proyectos*, 171-182. Santiago, Chile: Centro Latinoamericano de Políticas Económicas y Sociales UC.

De Solminihaç, H., Echaveguren, T. y Chamorro, A. (2018). *Gestión de infraestructura vial*. Tercera Edición. Santiago, Chile: Ediciones UC.

Engel, E., Fisher, R. y Galetovic, A. (2014). *Economía de las asociaciones público-privadas*. Primera Edición. México: Fondo de Cultura Económica.

Farhan, J. y Fwa, T. (2011). Use of Analytic Hierarchy Process to prioritize network-level maintenance of pavement segments with multiple distresses. *Transportation Research Record*, 2225, 11-20.

Haimes, Y. y Jiang, P. (2001). Leontief-based model of risk in complex interconnected infrastructures. *Journal of Infrastructure Systems*, 7(1), 1-12.

Hinojosa, S. (2008). Opciones reales en inversiones públicas: revisión de literatura, desarrollos conceptuales y aplicaciones. *CLADEA*: 1-124.

Idrovo, B. (2012). Documentos de Trabajo N°69: Inversión en infraestructura pública y crecimiento económico: evidencia para Chile. Santiago, Chile: Cámara Chilena de la Construcción.

Iturra, R. (2016). Oportunidades de mejora a los problemas identificados por los actores claves para ser incorporadas en las concesiones viales. Documento de Actividad de Graduación de Magister en Administración de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.

Jiang, J., Chen, Y., Chen, Y. y Yang, K. (2011). TOPSIS with fuzzy belief structure for group belief multiple criteria decision making. *International Journal of Expert Systems with Applications*, 38(8), 9400-9406.

Khademi, N. y Sheikholeslami, A. (2010). Multicriteria group decision-making technique for a lowclass road maintenance program. *Journal of Infrastructure Systems*, 16, 188-198.

Ministerio de Obras Públicas (2015). Red vial nacional: dimensionamiento y características. Santiago, Chile: Dirección Nacional de Vialidad.

Ministerio de Obras Públicas (2016). Concesiones de obras públicas en Chile: 20 años. Santiago, Chile: Coordinación de Concesiones de Obras Públicas.

Ministerio de Obras Públicas (2017). Tercer informe trimestral: Dirección General de Concesiones. Santiago, Chile: Coordinación de Concesiones de Obras Públicas.

Ministerio de Obras Públicas (2018a). Balance de gestión de la Coordinación de Concesiones de Obras Públicas: marzo 2014 - marzo 2018. Santiago, Chile: Coordinación de Concesiones de Obras Públicas.

Ministerio de Obras Públicas (2018b). Detalle de inversión histórica MOP 1991-2017. Santiago, Chile: Dirección de Planeamiento.

Osei-Kyei, R. y Chan, A. (2015). Review of studies on the Critical Success Factors for Public-Private Partnership (PPP) projects from 1990 to 2013. *International Journal of Project Management*, 33, 1335-1346.

Saaty, T. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 234-281.

Saaty, T. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw Hill. Pittsburgh: RWS Publications.

Saaty, T. (1987). The Analytic Hierarchy Process – What it is and how is it used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161-176.

Saaty, T. (2008). Decision making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.

Taha, H. (2003). *Operations research*. Fayetteville: Pearson Education Inc.

9. Anexos

9.1 Anexo 1: Proceso de Priorización mediante el Modelo AHP

9.1.1 Estructuración del modelo

La aplicación del modelo AHP para priorizar elementos o alternativas debe comenzar con una estructuración. En el nivel superior del modelo se define el objetivo global (O), el que en este caso corresponde a la priorización multicriterio de los riesgos identificados por los actores claves. En el segundo nivel, se establecen los m criterios de evaluación (C_j) en función del objetivo previamente definido. Finalmente, en el nivel inferior del árbol de decisión se encuentra el set de n alternativas, que en este caso corresponden a los riesgos (R_i) del sistema de APP identificados por los actores claves.

9.1.2 Elaboración de matrices de comparación pareada

Tras la estructuración del modelo, el proceso continúa con la asignación de las valoraciones relativas a los criterios y a las alternativas, en función de su nivel superior de la estructura AHP establecida. Para esto se construye un conjunto de matrices de comparación pareada, utilizando una escala creada por Saaty, que mide los juicios emitidos por el individuo que toma la decisión. Esta escala emplea valores de 1 a 9 según se muestra en la Tabla 8, la cual indica cuántas veces más importante o dominante es un elemento sobre otro considerando un determinado criterio de evaluación.

Tabla 8. Escala fundamental de números absolutos.

Fuente: Saaty (1977).

<i>Intensidad o Importancia</i>	<i>Definición</i>	<i>Explicación</i>
1	Igual	Ambos elementos son de igual importancia.
3	Moderada	Moderada importancia de un elemento sobre otro.
5	Fuerte	Importancia fuerte de un elemento sobre otro
7	Muy Fuerte	Importancia demostrada de un elemento sobre otro.
9	Extrema	Importancia absoluta de un elemento sobre otro
2, 4, 6, 8	Términos medios	Valores intermedios, que se emplean para expresar preferencias que se encuentran entre dos los valores indicados anteriormente.
Recíprocos	$a_{ij} = 1/a_{ji}$	Una suposición razonable, según hipótesis del método.

Considerando la estructura jerárquica propuesta, cada actor clave participe de la encuesta tendrá asociada una matriz A de comparaciones para el objetivo general y una matriz $B^{(k)}$ para cada uno de los m criterios de evaluación, ya que la relevancia de cada alternativa o riesgo dependerá del criterio con que se esté valorando.

La matriz de juicio de comparación de pares para el caso de los criterios de evaluación (A) tienen la siguiente forma:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_m} \\ \frac{w_1}{w_1} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_m}{w_1} & \dots & \frac{w_m}{w_m} \end{bmatrix}_{m \times m} \quad (1)$$

Donde las entradas a_{ij} para $1 \leq i, j \leq m$, representan la razón de comparación entre el criterio i y el criterio j considerando el objetivo definido.

Por otro lado, las matrices de comparaciones de pares para el caso de los riesgos o alternativas según el criterio de evaluación $k=1, \dots, m$ son del tipo:

$$B^{(k)} = \begin{bmatrix} \left(\frac{w_1}{w_1}\right)^{(k)} & \dots & \left(\frac{w_1}{w_n}\right)^{(k)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{w_n}{w_1}\right)^{(k)} & \dots & \left(\frac{w_n}{w_n}\right)^{(k)} \end{bmatrix}_{n \times n} \quad k=1, \dots, m \quad (2)$$

Donde las entradas $b_{ij}^{(k)}$ para $1 \leq i, j \leq n$, representan la razón de comparación entre la alternativa i y la alternativa j considerando el criterio de evaluación k .

9.1.3 Integración de comparaciones individuales

Un aspecto relevante a considerar al aplicar el método AHP en la toma de decisiones es la integración de valoraciones individuales en una única opción de grupo representativa. Los juicios individuales deben combinarse de manera tal que el recíproco de las valoraciones individuales agregadas sea igual al agregado de los recíprocos de estas valoraciones individuales.

Respecto a esto, se ha demostrado que la media geométrica es la mejor manera de integrar valoraciones individuales en un juicio grupal (Aczel y Saaty, 1983; Aczel y Alsina, 1987; Saaty, 2008). Así, en el caso de que no exista un consenso grupal, en cuanto a que los individuos no logren combinar sus juicios en una sola opinión representativa, se puede utilizar la media geométrica para integrar los resultados de los L entrevistados. En las Ecuaciones (3) y (4) se presenta el método de cálculo de la entrada i, j de las matrices de comparación pareada para la decisión grupal representativa.

$$\bar{a}_{ij} = \sqrt[L]{\prod_{l=1}^L (a_{ij})_l} \quad (3)$$

$$\bar{b}_{ij}^k = \sqrt[L]{\prod_{l=1}^L (b_{ij}^k)_l} \quad k=1, \dots, m \quad (4)$$

9.1.4 Priorización de criterios de evaluación y alternativas

Una vez que se ha construido el modelo AHP y se han elaborado las matrices de comparaciones tanto a nivel individual como grupal, el problema se reduce al cálculo de los valores y vectores propios asociados a las matrices A y $B^{(k)}$, los que representan las

prioridades de los tomadores de decisiones. En términos matemáticos, esto se puede representar mediante las Ecuaciones (5) y (6):

$$Aw = \lambda_A w \quad (5)$$

$$B^{(k)} s^{(k)} = \lambda_B^{(k)} s^{(k)} \quad k=1, \dots, m \quad (6)$$

Para calcular los autovalores o valores propios (λ_A) de la matriz de comparación de criterios (A) se deben determinar las raíces del polinomio característico de A :

$$p(\lambda_A) = |A - \lambda_A I| = 0 \quad (7)$$

De la misma manera, se deben estimar las soluciones del polinomio característico de la matriz $B^{(k)}$ para determinar los valores propios ($\lambda_B^{(k)}$) de la matriz de comparación de riesgos o alternativas según el criterio $k=1, \dots, m$. Para ello se resuelve el sistema de la Ecuación (8):

$$p(\lambda_B^{(k)}) = |B^{(k)} - \lambda_B^{(k)} I| = 0 \quad k=1, \dots, m \quad (8)$$

El sistema de la Ecuación (7) tiene una solución λ^* no trivial si, y solo si, el determinante de la matriz $A - \lambda^* I$ es nulo. Lo mismo ocurre para el caso del sistema de la Ecuación (8) pero con la matriz $B^{(k)} - \lambda^* I$. En dicho caso se dice que λ^* es un valor propio de la matriz estudiada. Si se considera que las matrices de comparación A y $B^{(k)}$ son perfectamente consistentes, las columnas de las matrices asociadas son linealmente dependientes. Equivalentemente, asumiendo consistencia perfecta, cada columna de la matriz se puede obtener como combinación lineal de las otras. Así, se tiene que el rango de estas matrices es unitario. Dado que el número de valores propios de una matriz es igual a su rango, se concluye que las matrices A y $B^{(k)}$ tienen solo un valor propio λ^* asociado en caso de que sean consistentes.

Por otro lado, como la suma de los autovalores de la matriz es igual a su traza, entonces el valor de λ^* es igual a la dimensión de la matriz, siempre y cuando la matriz de comparación sea totalmente consistente. Por lo tanto, en ese caso m es el único valor propio de A y n es el único valor propio de $B^{(k)}$. En el caso que se tenga una matriz inconsistente, se trabaja con el máximo de los valores propios obtenidos ($\lambda_{m\acute{a}x}$), como propone Saaty (1987).

Una vez calculados los autovalores máximos de cada matriz de comparación de pares, se procede a determinar el vector propio asociado al valor propio máximo de cada matriz. Para el caso de la matriz de comparación de criterios de evaluación (A), el vector propio w se obtiene resolviendo el siguiente sistema:

$$(A - \lambda_A I)w = 0 \quad (9)$$

En este caso, w es un vector normalizado de dimensión m , el cual en su entrada w_j muestra la prioridad del criterio de evaluación j de acuerdo al objetivo definido.

Por otro lado, el vector propio $s^{(k)}$ asociado a la matriz $B^{(k)}$ de comparación de riesgos (R_i) según el criterio $k=1, \dots, m$, se obtiene resolviendo:

$$(B^{(k)} - \lambda_B^{(k)} I)s^{(k)} = 0 \quad k=1, \dots, m \quad (10)$$

El vector propio $s^{(k)}$ corresponde a un vector normalizado de dimensión n , el cual su entrada $s_i^{(k)}$ muestra la prioridad de la alternativa i de acuerdo al criterio de evaluación k . Los vectores propios $s^{(k)}$ obtenidos para cada uno de los m criterios de evaluación pueden ser integrados en una matriz S de puntuación de alternativas o riesgos. Esta tiene dimensión $n \times m$, ya que cada fila representa la puntuación o prioridad de cada uno de los n riesgos según los m criterios de evaluación. De esta forma, la matriz S tiene la siguiente configuración:

$$S = [s^{(1)} \quad \dots \quad s^{(m)}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} s_1^{(1)} & \dots & s_1^{(m)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_n^{(1)} & \dots & s_n^{(m)} \end{bmatrix}_{n \times m} \quad (11)$$

Finalmente, ya calculados los pesos o prioridades de los criterios de evaluación dados por el vector propio w , e integrados los pesos de las n alternativas asociados a los m criterios en una matriz S , resulta posible determinar la priorización global de las alternativas evaluadas. Para esto se define el vector v , que corresponde al vector de priorización global multicriterio y que matemáticamente se calcula a través del producto entre la matriz S y el vector propio w :

$$v = Sw \quad (12)$$

El vector de priorización global v corresponde a un vector de dimensión n , el cual en su entrada v_i muestra la prioridad global de la alternativa i , considerando los m criterios de evaluación y sus pesos correspondientes. Para organizar de manera priorizada las distintas alternativas, se ordenan en forma decreciente las n entradas del vector de priorización global v . Esto le permite al tomador de decisiones tener un ranking de las alternativas, en que el primer elemento de la lista tendrá un mayor valor v_i , y, por ende, una mayor prioridad para ser asignada correctamente.

9.1.5 Evaluación de consistencia

Un aspecto relevante en la aplicación del método AHP es la consistencia de los juicios de los expertos entrevistados representados en las matrices A y $B^{(k)}$. Las comparaciones de los criterios y alternativas por parte de los encuestados deben ser coherentes y lógicas. En específico, para comprobar la consistencia de las matrices comparativas de criterios A y de alternativas $B^{(k)}$, se debe considerar lo siguiente:

- Las comparaciones deben ser numéricamente consistentes.
- Las comparaciones entre pares deben ser transitivas.

En cuanto a la consistencia numérica de las matrices de comparaciones pareadas, estas deben cumplir con ser recíprocas, y con tener una traza igual a m para el caso de la matriz A y n para las matrices $B^{(k)}$. Así, las entradas a_{ij} y $b_{ij}^{(k)}$ asociadas a las matrices A y $B^{(k)}$, respectivamente, deben satisfacer las siguientes cuatro reglas:

$$0 < a_{ij}, b_{ij}^{(k)} < 9 \quad k=1, \dots, m \quad (13)$$

$$a_{ij} = a_{ji}^{-1} \quad (14)$$

$$b_{ij}^{(k)} = b_{ji}^{(k)-1} \quad k=1, \dots, m \quad (15)$$

$$a_{ii}, b_{ii}^{(k)} = 1 \quad k=1, \dots, m \quad (16)$$

Por otro lado, las matrices A y $B^{(k)}$ elaboradas por los expertos deben ser transitivas. Esto quiere decir que si un individuo cree que la alternativa i es dos veces más relevante que la alternativa l y que la alternativa l es dos veces más relevante que la alternativa j , entonces la alternativa i debe ser cuatro veces más importante que la alternativa j . Esto se puede representar matemáticamente mediante las siguientes reglas de transitividad para las matrices comparativas:

$$a_{ij} = a_{il}a_{lj} \quad (17)$$

$$b_{ij}^{(k)} = b_{il}^{(k)}b_{lj}^{(k)} \quad (18)$$

Si se cumplen todos los criterios de consistencia numérica y transitividad, las matrices de comparación tendrán rango unitario, lo que implica que tengan un solo autovalor. Este tomará el valor de la traza de la matriz en cuestión, el cual es igual a m para el caso de A y n para $B^{(k)}$.

Para cuantificar la consistencia de las matrices de comparación A y $B^{(k)}$, Saaty (1980) propone estimar el Razón de Consistencia (RC) de cada matriz a partir del cociente entre el Índice de Consistencia (IC) y el Índice de Aleatoriedad (IA).

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (19)$$

Para estimar el Índice de Consistencia se compara el valor propio máximo ($\lambda_{máx}$) con la traza de la matriz. En el caso de consistencia perfecta, se tendrá que el $\lambda_{máx}$ es igual a la traza, llegando así a que el valor de IC es nulo. A medida que aumenta la inconsistencia, aumenta $\lambda_{máx}$ y con esto también el valor de IC . Así, para estimar este indicador de cada matriz de comparación Saaty (1980) propone la siguiente expresión:

$$IC_A = \frac{\lambda_{máx} - m}{m - 1} \quad (20)$$

$$IC_{B^{(k)}} = \frac{\lambda_{máx}^{(k)} - n}{n - 1} \quad k=1, \dots, m \quad (21)$$

El Índice de Aleatoriedad, por su parte, corresponde al Índice de Consistencia promedio derivado de una muestra de 500 matrices recíprocas generadas aleatoriamente usando la misma escala de Saaty. En la Tabla 9 se muestran los valores de este indicador en función de la traza de la matriz en cuestión:

Tabla 9. Valores de Índice de Aleatoriedad (IA) para modelos pequeños (≤ 10).

Fuente: Saaty (1980).

m, n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Saaty (1987) y Taha (2003) señalan que la Razón de Consistencia (*RC*) de una matriz de comparación se considera aceptable si es menor o igual a 10%. En caso de que la Razón de Consistencia supere este valor, las matrices de juicio de experto deben ser revisadas.

9.2 Anexo 2: Cuestionario aplicado a Actores Claves

Ponderaciones de Criterios y Riesgos en Concesiones Viales en Chile																																																																																												
Nombre:																																																																																												
Profesión:																																																																																												
Área de Trabajo:																																																																																												
Años de Experiencia APP:																																																																																												
Parte I: Ponderación de Criterios según Aspectos más Relevantes																																																																																												
Los criterios corresponden a los aspectos contractuales que son abordados del punto de vista de la regulación																																																																																												
<p>El propósito de la Parte I es determinar según el conocimiento, experiencia e información del encuestado cuál es la importancia relativa de los siguientes criterios en el éxito de un proyecto vial concesionado. Esto es, qué aspectos inciden de mayor forma en el resultado holístico del proyecto, es decir, en el aumento del bienestar de todos los involucrados durante el ciclo de vida.</p>																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Criterios (Aspectos Regulatorios)</th> </tr> <tr> <th>Comerciales</th> <th>Financieros</th> <th>Técnicos</th> <th>Sociales</th> <th>Suma (100%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5">Ponderar criterios porcentualmente en celdas vacías</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">La suma de los cuatro criterios debe ser 100%</td> </tr> </tbody> </table>					Criterios (Aspectos Regulatorios)					Comerciales	Financieros	Técnicos	Sociales	Suma (100%)	Ponderar criterios porcentualmente en celdas vacías					La suma de los cuatro criterios debe ser 100%																																																																								
Criterios (Aspectos Regulatorios)																																																																																												
Comerciales	Financieros	Técnicos	Sociales	Suma (100%)																																																																																								
Ponderar criterios porcentualmente en celdas vacías																																																																																												
La suma de los cuatro criterios debe ser 100%																																																																																												
Parte II: Ponderación de Alternativas según Criterios																																																																																												
<p>El propósito de la Parte II es determinar en términos porcentuales según el conocimiento, experiencia e información del encuestado cuánto impacta cada riesgo presente en concesiones viales en cada uno de los cuatro criterios ya mencionados. Para ello se solicita emplear la siguiente escala de valores como referencia. Tener presente de que se pueden emplear valores intermedios y que no es necesario que cada fila sume 100%. Además, se pueden agregar más riesgos al listado (P11 y P12).</p>																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Escala de valores de referencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muy fuerte</td> <td>81% - 100%</td> </tr> <tr> <td>Fuerte</td> <td>61% - 80%</td> </tr> <tr> <td>Moderado</td> <td>41% - 60%</td> </tr> <tr> <td>Escaso</td> <td>21% - 40%</td> </tr> <tr> <td>Débil</td> <td>0% - 20%</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Se pueden emplear valores intermedios</td> </tr> </tbody> </table>					Escala de valores de referencia		Muy fuerte	81% - 100%	Fuerte	61% - 80%	Moderado	41% - 60%	Escaso	21% - 40%	Débil	0% - 20%	Se pueden emplear valores intermedios																																																																											
Escala de valores de referencia																																																																																												
Muy fuerte	81% - 100%																																																																																											
Fuerte	61% - 80%																																																																																											
Moderado	41% - 60%																																																																																											
Escaso	21% - 40%																																																																																											
Débil	0% - 20%																																																																																											
Se pueden emplear valores intermedios																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">En la siguiente tabla evaluar alternativas de acuerdo a la escala anterior</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Problema Identificado</th> <th>Comerciales</th> <th>Financieros</th> <th>Técnicos</th> <th>Sociales</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P1</td> <td>Incompletitud de la Ingeniería</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P2</td> <td>Atraso en Expropiaciones</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P3</td> <td>Atraso en Aprobación Ambiental</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P4</td> <td>Conflictos de Interés con Comunidades</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P5</td> <td>Deficientes Estimaciones de la Demanda</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P6</td> <td>Rigidez y Conflictos Contractuales</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P7</td> <td>Falta de Involucramiento Contractual</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P8</td> <td>Idefinición de una Política Tarifaria</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P9</td> <td>Descoordinación entre Instituciones del Estado</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P10</td> <td>Acoplamiento al Ciclo Político</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P11</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P12</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">No es necesario que cada fila sume 100%</td> </tr> </tbody> </table>					En la siguiente tabla evaluar alternativas de acuerdo a la escala anterior						Problema Identificado	Comerciales	Financieros	Técnicos	Sociales	P1	Incompletitud de la Ingeniería					P2	Atraso en Expropiaciones					P3	Atraso en Aprobación Ambiental					P4	Conflictos de Interés con Comunidades					P5	Deficientes Estimaciones de la Demanda					P6	Rigidez y Conflictos Contractuales					P7	Falta de Involucramiento Contractual					P8	Idefinición de una Política Tarifaria					P9	Descoordinación entre Instituciones del Estado					P10	Acoplamiento al Ciclo Político					P11						P12						No es necesario que cada fila sume 100%				
En la siguiente tabla evaluar alternativas de acuerdo a la escala anterior																																																																																												
	Problema Identificado	Comerciales	Financieros	Técnicos	Sociales																																																																																							
P1	Incompletitud de la Ingeniería																																																																																											
P2	Atraso en Expropiaciones																																																																																											
P3	Atraso en Aprobación Ambiental																																																																																											
P4	Conflictos de Interés con Comunidades																																																																																											
P5	Deficientes Estimaciones de la Demanda																																																																																											
P6	Rigidez y Conflictos Contractuales																																																																																											
P7	Falta de Involucramiento Contractual																																																																																											
P8	Idefinición de una Política Tarifaria																																																																																											
P9	Descoordinación entre Instituciones del Estado																																																																																											
P10	Acoplamiento al Ciclo Político																																																																																											
P11																																																																																												
P12																																																																																												
No es necesario que cada fila sume 100%																																																																																												

Figura 15. Cuestionario aplicado a actores claves para la construcción de matrices de comparación pareada.

Fuente: Adaptado de Iturra (2016).

9.3 Anexo 3: Muestra de Actores Claves considerados en el Grupo de Expertos

Tabla 10. Muestra de actores claves encuestados.

Fuente: Elaboración propia.

DGC y Consejo de Concesiones

<i>N°</i>	<i>Nombre</i>	<i>Cargo</i>	<i>Años Exp. APP</i>
1	Hugo Vera	Director General de Concesiones de Obras Públicas	20
2	Eduardo Abedrapo	Ex Coordinador General de Concesiones	20
3	Jaime Retamal	Ex Coordinador General de Concesiones	20
4	Mauricio Gatica	Ex Coordinador General de Concesiones	25
5	Víctor Neira	Jefe Div. Construcción Dirección de Concesiones	22
6	Juan Eduardo Chackiel	Jefe Div. Estudios Dirección de Concesiones	15
7	Javier Soto	Jefe Un. Jurídica Dirección de Concesiones	20
8	Alejandro González	Jefe Un. de Análisis de Contratos Dirección de Concesiones	12
9	Juan Andrés Varas	Derecho Civil Patrimonial y Consejo de Concesiones	15
10	Rodrigo Delgadillo	Profesor UTFSM y Consejo Concesiones	3
11	Luis Eduardo Bresciani	Ex Consejo de Concesiones	20
12	Rodrigo Castro	Ex Consejo de Concesiones	23

Gobierno Central (MOP, MH y MTT)

<i>N°</i>	<i>Nombre</i>	<i>Cargo</i>	<i>Años Exp. APP</i>
1	Lucas Palacios	Subsecretario de Obras Públicas	8
2	Clemente Pérez	Ex Subsecretario de Obras Públicas	15
3	Mariana Concha	Directora General de Obras Públicas	8
4	Juan Manuel Sánchez	Ex Director General de Obras Públicas	15
5	Walter Brüning	Director Nacional de Vialidad	20
6	Mario Fernández	Ex Director Nacional de Vialidad	15
7	Mario Anguita	Subdirector de Mantenimiento de Dirección de Vialidad	20
8	Alfonso Ugarte	Ex Abogado Fiscalía Ministerio de Obras Públicas	20
9	Hermann von Gersdorf	Coordinador de Modernización del Estado Ministerio de Hacienda	5
10	María José Huerta	Jefe Pasivos Contingentes y Concesiones Ministerio de Hacienda	3
11	Eduardo Koffmann	Ex Coordinador Nacional de Planificación y Desarrollo MTT	5

Concesionarios y COPSA

<i>N°</i>	<i>Nombre</i>	<i>Cargo</i>	<i>Años Exp. APP</i>
1	Domingo Jiménez	Gerente General Concesionaria Sacyr	20
2	Maximiliano Wild	Abogado Concesionaria Sacyr	10
3	Luis Miguel de Pablo	Gerente General Concesionaria Abertis	20
4	Eduardo Escala	Presidente Concesionaria Globalvía	20
5	Moisés Vargas	Gerente Técnico y de Explotación Autopista del Itata Globalvía	21
6	Eduardo Larrabé	Gerente General Concesionaria ISA Intervial	20

7	Carlos Fuenzalida	Gerente de Infraestructura ISA Intervial	20
8	Mario Ballerini	Gerente General Ruta del Maule y Ruta del Bosque ISA Intervial	21
9	Marcela Allué	Gerente General de COPSA	6
10	Viviana Pérez	Directora de Estudios de COPSA	13

Consultores, Banca y CPI

<i>N°</i>	<i>Nombre</i>	<i>Cargo</i>	<i>Años Exp. APP</i>
1	Sergio Hinojosa	Asesor Internacional en APP y Socio Principal de IKONS ATN	22
2	Louis de Grange	Presidente de Metro S.A. y Ex Consultor en Proyectos de Transporte	18
3	Carlos Piaggio	Gerente de Infraestructura Cámara Chilena de la Construcción	20
4	Jorge Letelier	Comité de Infraestructura Cámara Chilena de la Construcción	26
5	Robinson Lucero	Gerente General de APSA Gestión de Infraestructura	20
6	David Acuña	Consultor Jurídico en Proyectos de Construcción y Concesiones	10
7	María Cristina Bogado	Presidenta Comité Infraestructura de AIC	15
8	Jorge Selaive	Economista Jefe de BBVA Research Chile	4
9	Rodrigo Aravena	Gerente de Relaciones Institucionales y Economista Jefe de Banco de Chile	12
10	Wu Yong Le	Director Asset Management - Fondo de Infraestructura	10
11	Carlos Cruz	Gerente General de CPI	23
12	Luis Guzmán	Gerente de Operaciones de CPI	3

9.4 Anexo 4: Priorización Determinística por Grupo de Expertos

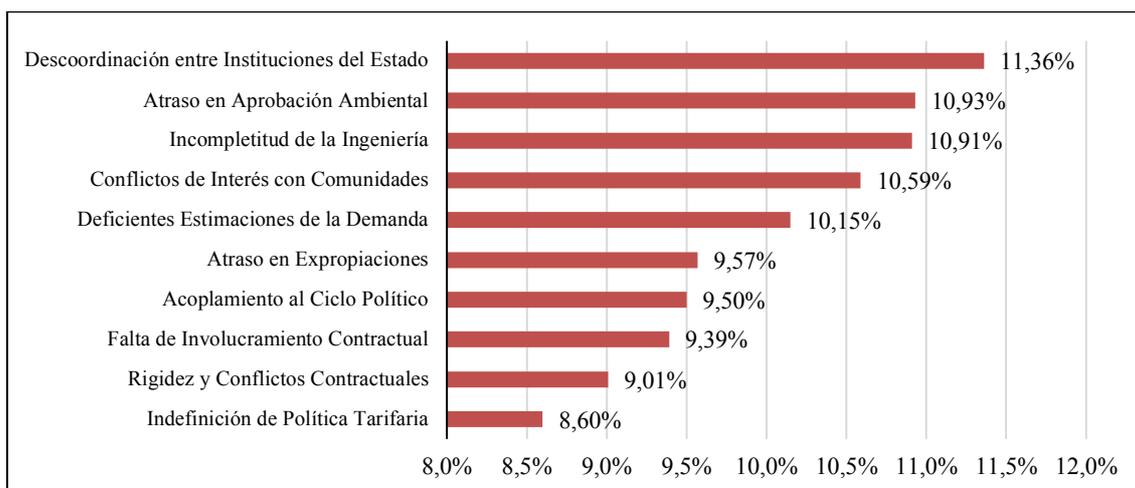


Figura 16. Priorización determinística de riesgos de grupo DGC y Consejo de Concesiones.

Fuente: Elaboración propia.

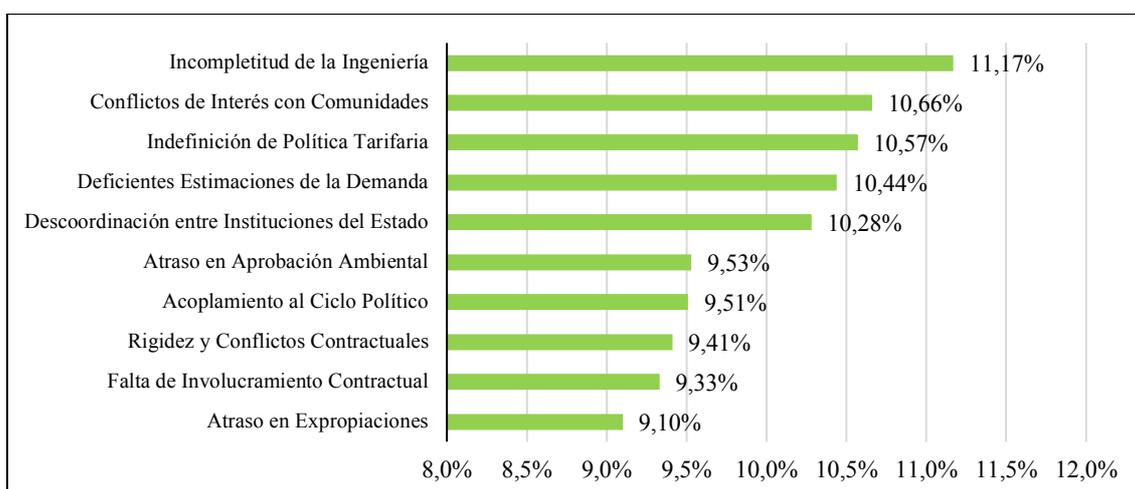


Figura 17. Priorización determinística de riesgos de grupo Gobierno Central.

Fuente: Elaboración propia.

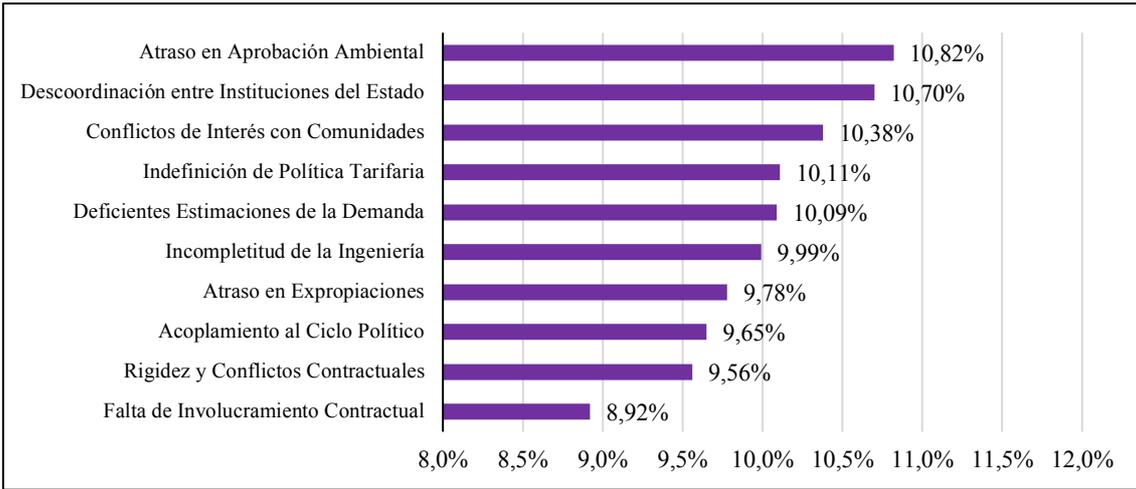


Figura 18. Priorización determinística de riesgos de grupo Concesionarios y COPSA.
Fuente: Elaboración propia.

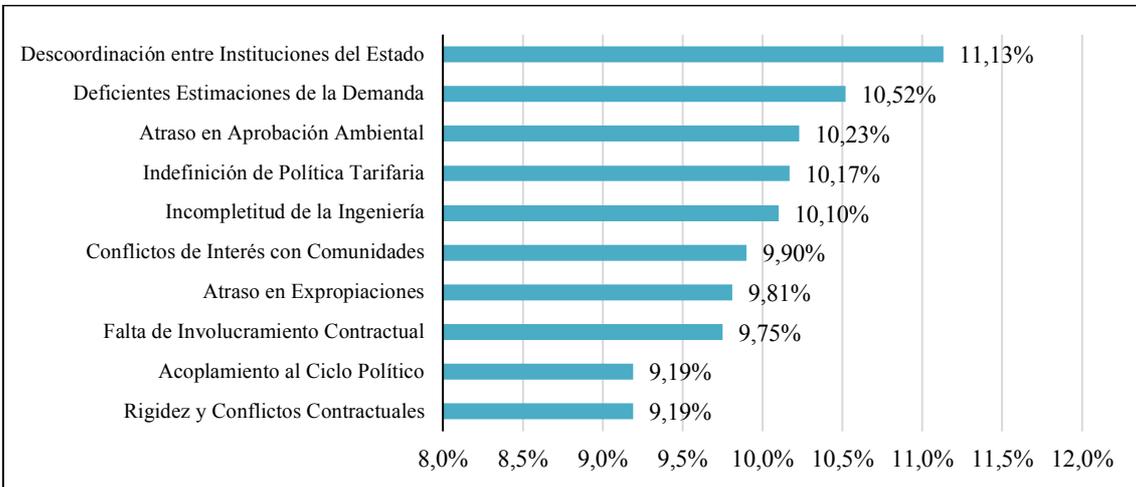


Figura 19. Priorización determinística de riesgos de grupo Consultores, Banca y CPI.
Fuente: Elaboración propia.

9.5 Anexo 5: Distribución de Priorización Probabilística por Riesgo

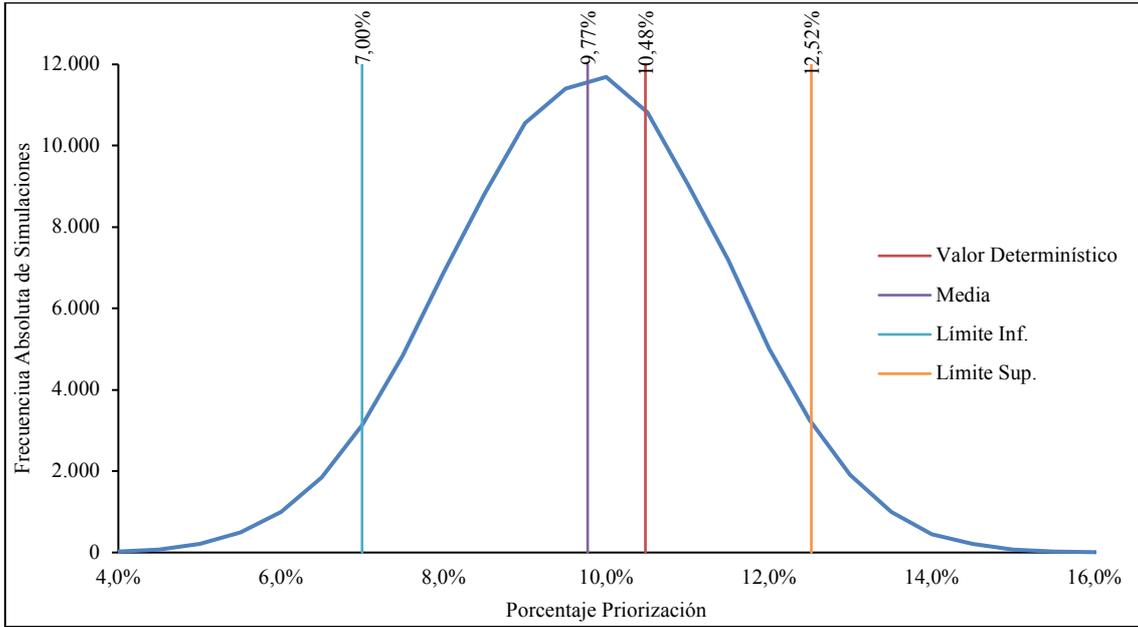


Figura 20. Histograma de distribución de priorización de Incompletitud de la Ingeniería.
Fuente: Elaboración propia.

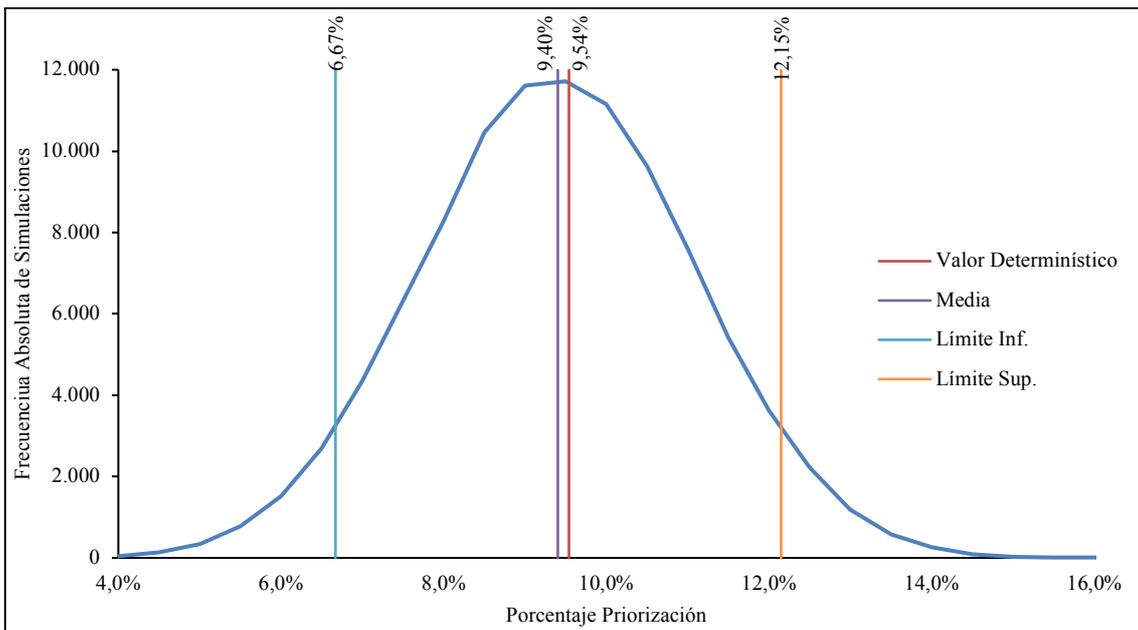


Figura 21. Histograma de distribución de priorización de Atraso en Expropiaciones.
Fuente: Elaboración propia.

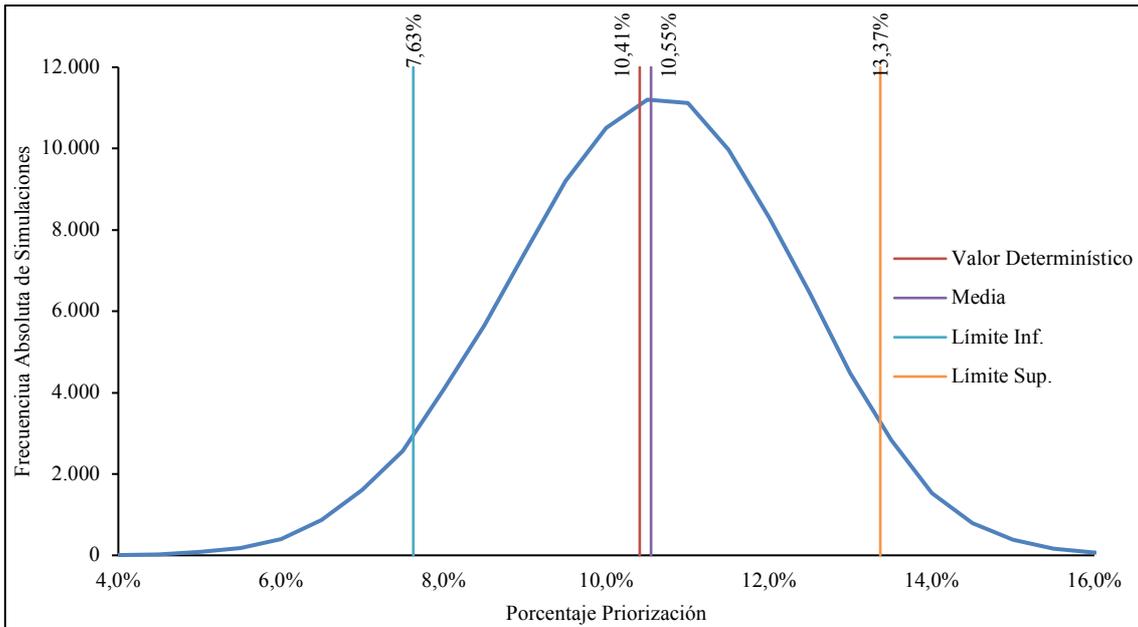


Figura 22. Histograma de distribución de priorización de Atraso en Aprobación Ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

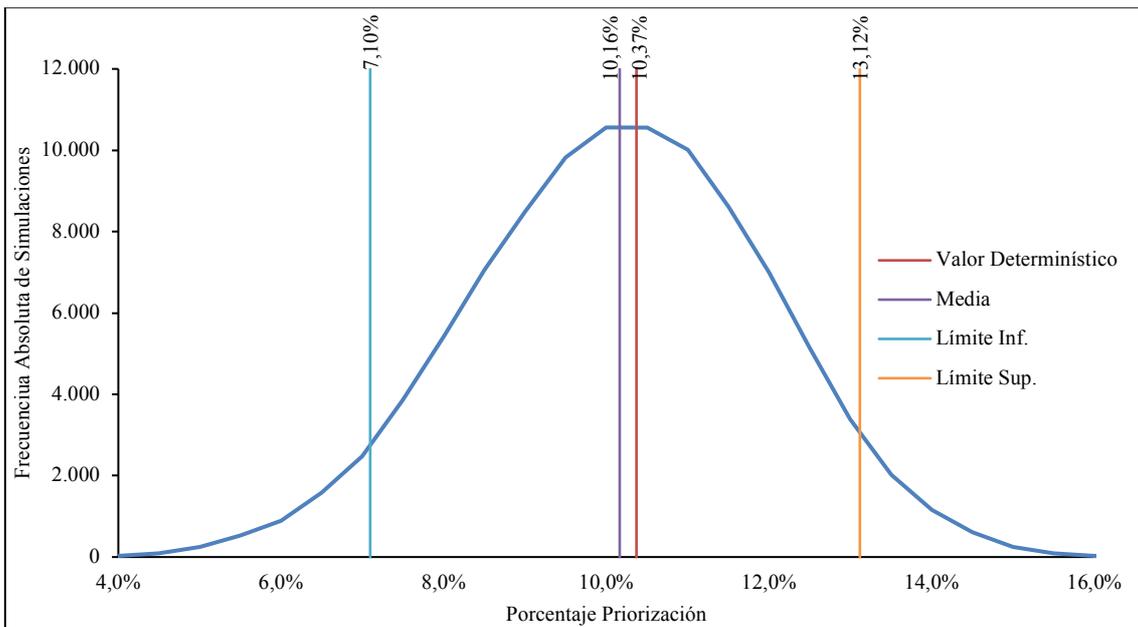


Figura 23. Histograma de distribución de priorización de Conflictos de Interés con Comunidades.

Fuente: Elaboración propia.

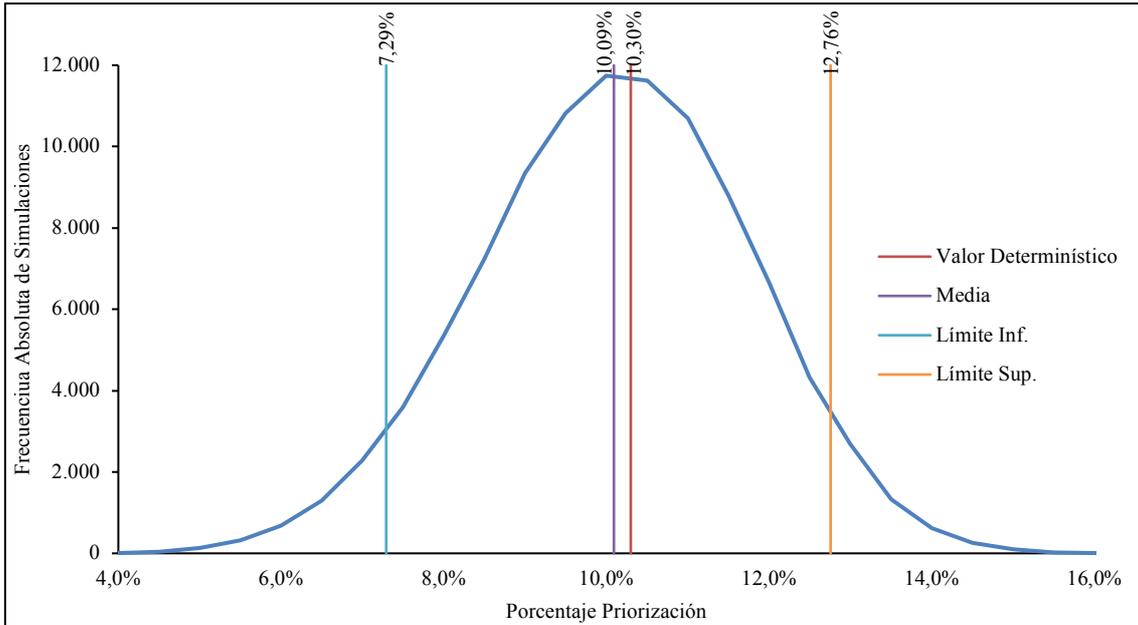


Figura 24. Histograma de distribución de priorización de Deficientes Estimaciones de Demanda.

Fuente: Elaboración propia.

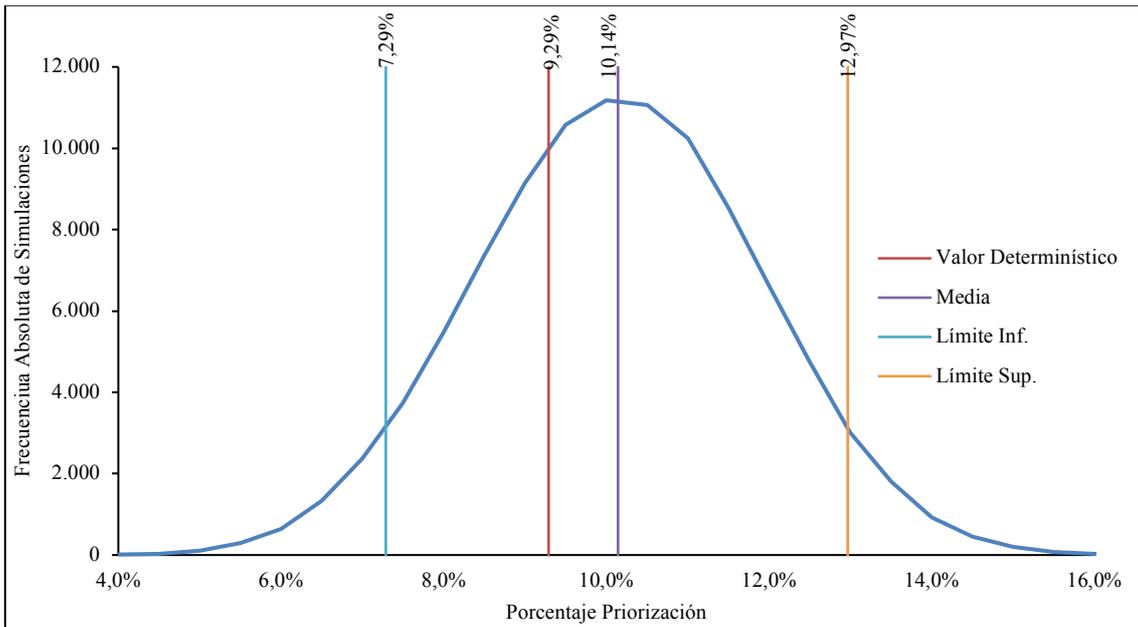


Figura 25. Histograma de distribución de priorización de Rigidez y Conflictos Contractuales.

Fuente: Elaboración propia.

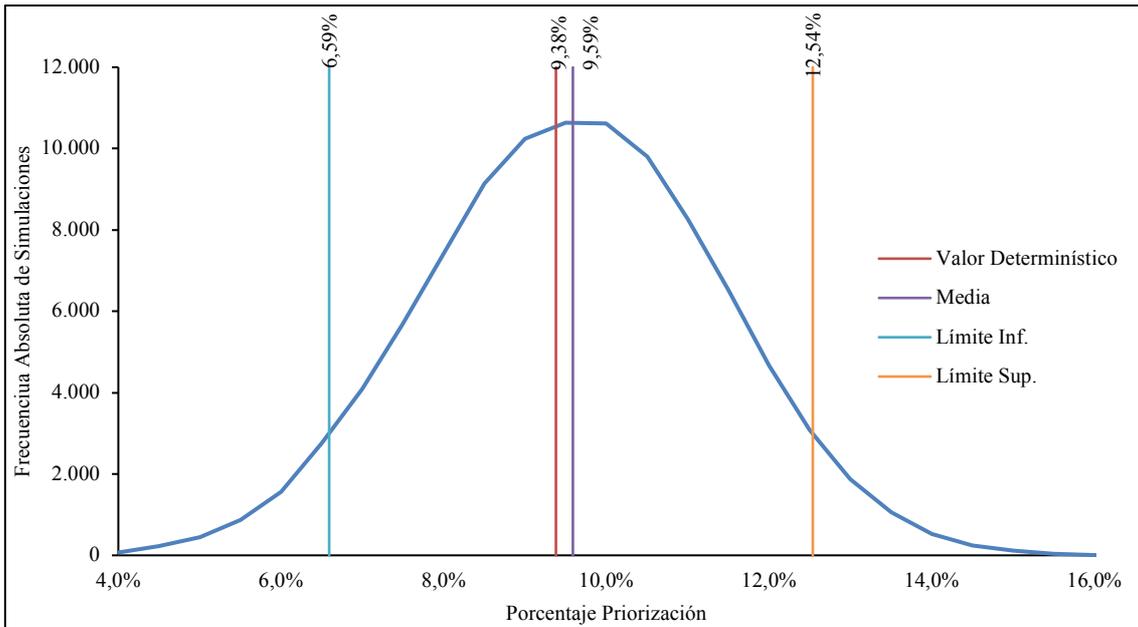


Figura 26. Histograma de distribución de priorización de Falta de Involucramiento Contractual.

Fuente: Elaboración propia.

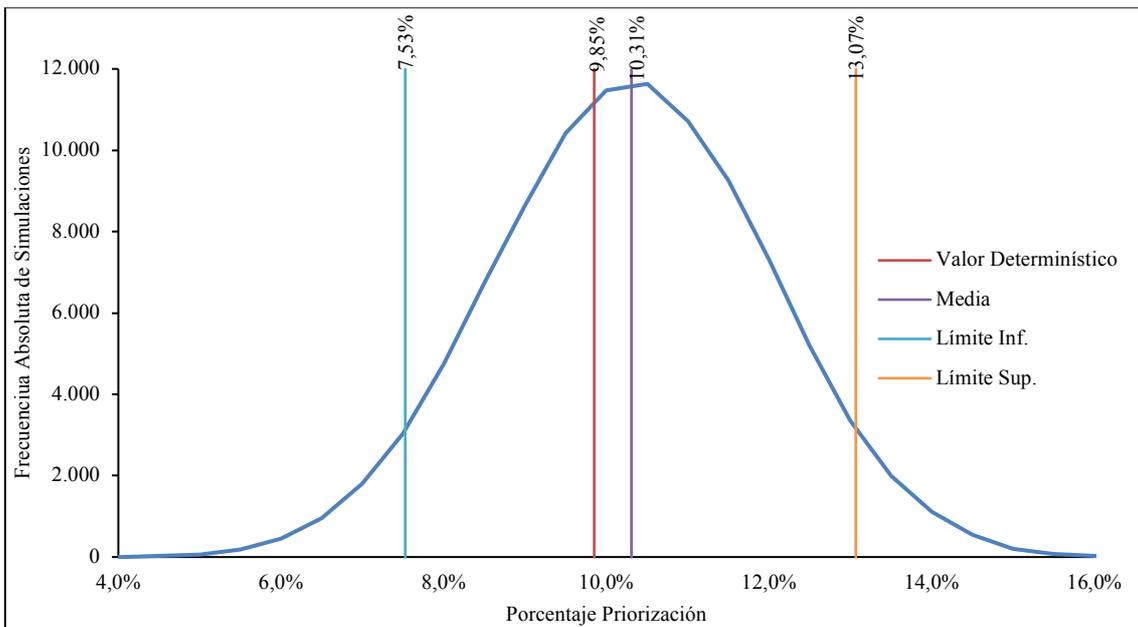


Figura 27. Histograma de distribución de priorización de Indefinición de una Política Tarifaria.

Fuente: Elaboración propia.

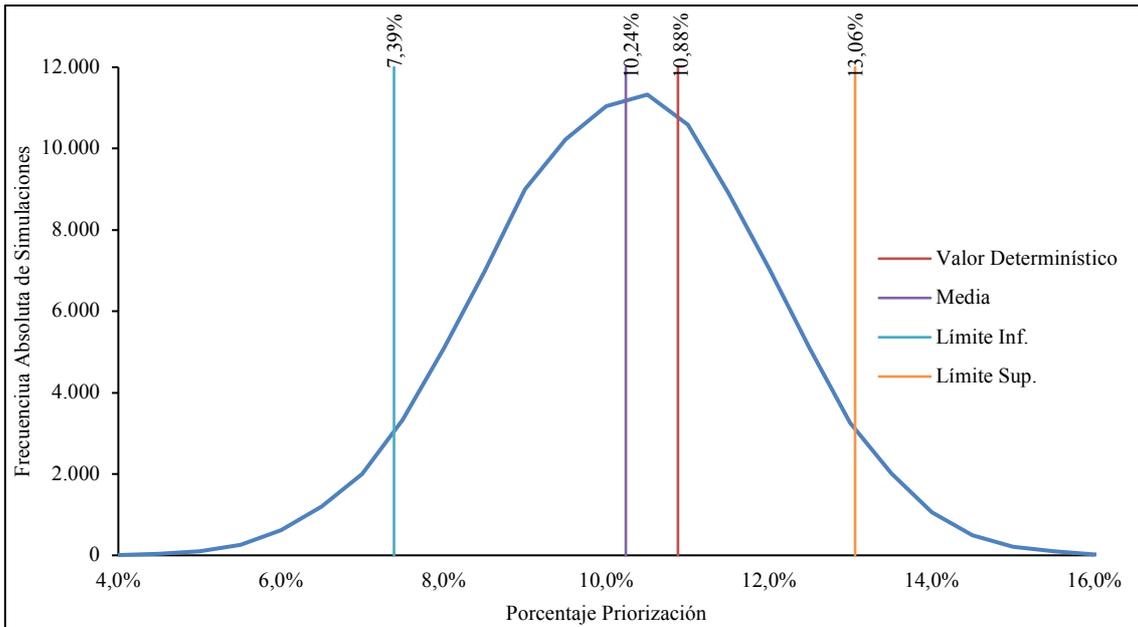


Figura 28. Histograma de distribución de priorización de Descoordinación entre Instituciones del Estado.
Fuente: Elaboración propia.

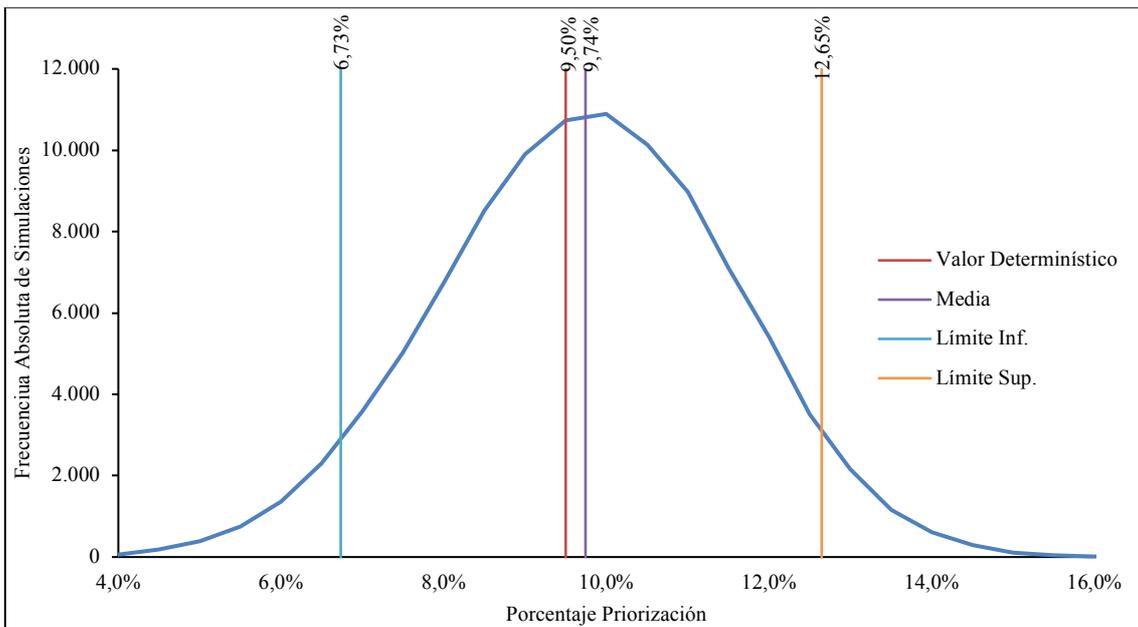


Figura 29. Histograma de distribución de priorización de Acoplamiento al Ciclo Político.
Fuente: Elaboración propia.

9.6 Anexo 6: Distribución Acumulada de Priorización Probabilística de Riesgos

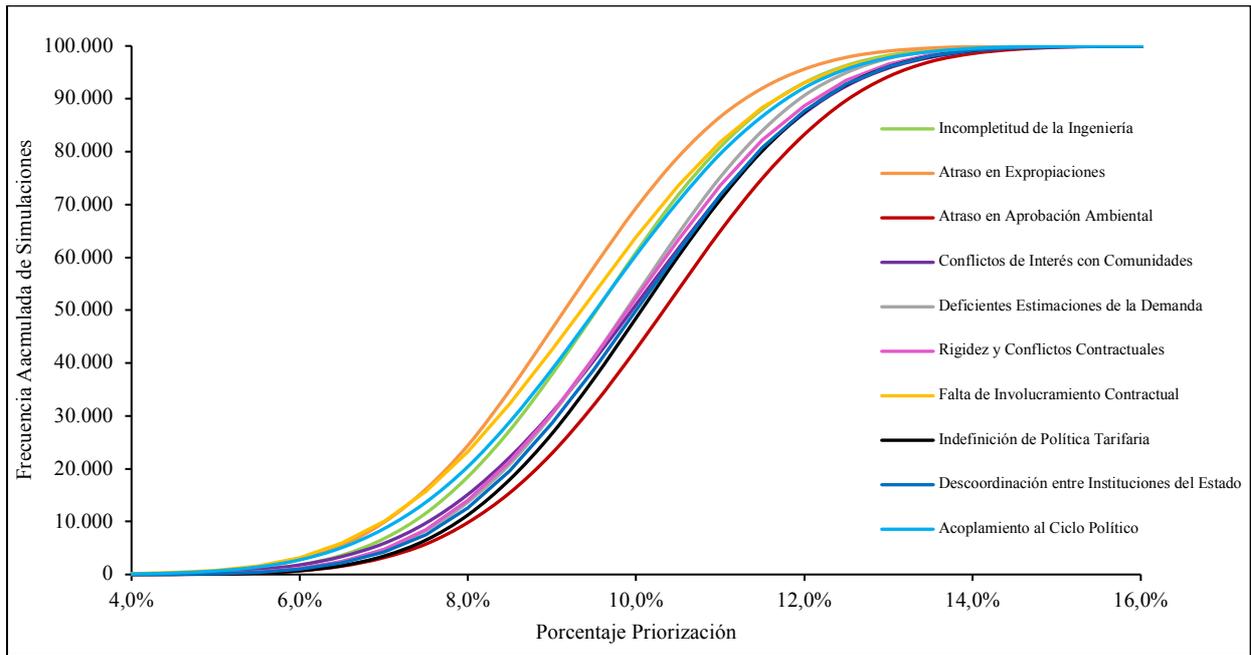


Figura 30. Histogramas de distribución acumulada de priorización de riesgos.

Fuente: Elaboración propia.



 [clapesuc](#)

 [@clapesuc](#)

 [clapes_uc](#)

 [clapesuc](#)