



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

## *Evaluación de proyectos de infraestructuras de transporte en dos etapas con impactos de no directa monetización*

**Francisco Javier Regalado López**

**ADVERTIMENT** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del repositori institucional UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) i el repositori cooperatiu TDX (<http://www.tdx.cat/>) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual **únicament per a usos privats** emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei UPCommons o TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a UPCommons (*framing*). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del repositorio institucional UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) y el repositorio cooperativo TDR (<http://www.tdx.cat/?locale-attribute=es>) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual **únicamente para usos privados enmarcados** en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio UPCommons No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a UPCommons (*framing*). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the institutional repository UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) and the cooperative repository TDX (<http://www.tdx.cat/?locale-attribute=en>) has been authorized by the titular of the intellectual property rights **only for private uses** placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading nor availability from a site foreign to the UPCommons service. Introducing its content in a window or frame foreign to the UPCommons service is not authorized (*framing*). These rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Programa de Doctorado en Ingeniería Civil

**Evaluación de proyectos de infraestructuras  
de transporte en dos etapas con impactos  
de no directa monetización**

Francisco Javier Regalado López

Directores de Tesis:

Dr. José Magín Campos Cacheda

Dr. Sergi Saurí Marchán

Barcelona, Abril 2021

# Resumen

El constante y rápido crecimiento poblacional va de la mano con una mayor demanda de servicios que los gobiernos tienen el deber de satisfacer. A su vez, tienen el problema de tener recursos financieros limitados. Las infraestructuras de transporte son una de las formas en la que se cubre la necesidad de movimiento de las personas y fomentan el crecimiento económico al conectar regiones y ciudades para un intercambio de mercancías y servicios.

El seleccionar los proyectos correctos es crucial para lograr el objetivo planteado, por lo que, se realiza un proceso de evaluación de proyectos para conocer si la alternativa analizada tiene el suficiente beneficio social neto para ser seleccionada como una propuesta viable. El parámetro principal para la evaluación de proyectos es el descuento de los costes y beneficios económicos que se generan debido a la infraestructura, comúnmente mediante el Análisis Coste-Beneficio (ACB), que aun siendo de diferente naturaleza son monetizados para poder realizar el análisis.

Los costes y beneficios, impactos que se consideran dentro del ACB han evolucionado en los últimos veinte años, pasando de considerar solamente impactos completamente convertibles a términos monetarios a impactos ambientales y sociales que han tenido un gran trabajo de estudio para lograr su cuantificación y monetización. Existen impactos que son de mayor dificultad para cuantificar y monetizar, que han necesitado un gran trabajo de investigación como se muestra en la literatura científica para considerarse en la evaluación de proyectos de infraestructuras de transporte.

Se ha llegado a una fase en la evaluación de proyectos en la que estamos entendiendo como cuantificar este tipo de impactos sin valor de mercado, pero aún tenemos la problemática de poder integrarlos en el ACB debido a la asignación de su precio. La importancia de estos impactos está demostrada mediante la literatura científica, por lo que es necesario encontrar la manera de considerarlos en la evaluación de las infraestructuras.

Finalmente se presenta una propuesta de análisis de dos etapas para considerar impactos sin valor de mercado dentro de la evaluación de proyectos. En la primera etapa se identifican los impactos de la infraestructura, cuantificándolos y llevando a cabo el descuento de los impactos con valor de mercado. En la segunda etapa se construye una función con los resultados del valor presente neto de cada impacto monetizado y los impactos sin valor de mercado. Posteriormente mediante un problema de programación lineal se puede encontrar el beneficio máximo entregado por la alternativa de proyecto. La solución del problema entrega los precios absolutos por lo que se puede encontrar el valor neto total de la cada alternativa de proyecto. Además, distingue las alternativas de proyecto que aportan un mayor beneficio social.

# Abstract

The constant and rapid population growth goes hand in hand with an increased demand for services that governments have the duty to satisfy with the problem of limited financial resources. Transport infrastructure is one of the ways to meet the need for movement of people and foster economic growth by connecting regions and cities for an exchange of goods and services.

Select the right projects is crucial to achieving the stated objective, so a project evaluation process is conducted to determine whether the infrastructure alternative has sufficient net social benefit to be selected as a viable proposal. The main parameter for project evaluation is the discount of the economic costs and benefits generated by the infrastructure, commonly through a cost-benefit analysis, of different nature that are monetized to be able to perform the analysis

The costs and benefits, impacts that are considered within the cost-benefit analysis have evolved over the last twenty years, from consider only impacts that are fully convertible into monetary terms to environmental and social impacts that have had a great effort of study to achieve their quantification and monetization. There might be impacts that are more difficult to quantify and monetize in project evaluation, which have had a great research work as shown in the scientific literature to be considered in the evaluation of transportation infrastructure projects.

We have reached a stage in the evaluation of projects in which we are understanding how to quantify these types of impacts without market value, but we still have the problem of being able to integrate them into the cost-benefit analysis due to the allocation of their price. The importance of these impacts is demonstrated through scientific literature, so it is necessary to find a way to consider them in the evaluation of infrastructures.

Finally, a two-stage proposal is presented to consider impacts without market value within project evaluation. In the first stage, the impacts of the infrastructure are identified, the impacts with market value are quantified and discounted. In the second stage, a function is constructed with the results of the net present value of each monetized impact and the impacts without market value, using a linear programming problem to find the maximum benefit delivered by the project alternative. The solution of the problem delivers the absolute prices so that the total net value of the alternative project can be found. In addition, it distinguishes the project alternatives that provide the greatest social benefit with the inclusion of the impacts with no market value.

# Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) del gobierno mexicano por su respaldo financiero que ha permitido, en parte, mi estancia para la elaboración de esta tesis.

Realizar una tesis doctoral me ha representado una actividad donde tuve que aprender nuevas habilidades y conocimientos, muchas veces una actividad de resistencia que fue más llevadera por el apoyo de diversas personas. Por lo que me gustaría expresar mi agradecimiento a las personas que han estado durante esta etapa de mi vida.

A mis directores de tesis Magín y Sergi, la finalización de este trabajo no hubiera sido posible sin ellos, les agradezco por su paciencia, comentarios y conocimientos que me ayudaron a definir el rumbo de esta investigación. Su aporte a mi persona es mayor a lo que piensan y les agradezco la oportunidad que me dieron para aprender de ustedes, el apoyo que me han mostrado.

Enlistarme en el programa de doctorado en la Universitat Politècnica de Catalunya me ha traído a la ciudad de Barcelona donde he conocido muchas personas que me han ayudado en diferentes formas y les agradezco muchísimo. A mis compañeras del B1-104, Andrea, Angélica y Liz con quienes pase muchas veces discutiendo temas ambientales y sociales relacionadas con las infraestructuras de transporte, además, por compartir experiencias de vida.

Al Alan, Julio, Mariana y Marco con quienes hicimos comunidad mexicana y nos reuníamos para hablar sobre nuestras vidas. A las personas que he conocido de diferentes países, contextos y pensamientos que me han enseñado un poquito de ellos, de sus comidas y costumbres. Gracias a cada uno de ustedes, por su apoyo.

A mi familia que siempre me apoyo a la distancia y animándome, a mis padres que siempre estuvieron para lo que necesitara, mis hermanos por estar pendiente de mi proceso en el programa de doctorado. A mi familia política por hacerme sentir en casa y en especial a mi esposa que tuvo la paciencia de estar en el proceso conmigo, apoyarme para que me rindiera el tiempo y adaptarse a mi agenda.

A Dios.

Muchas Gracias por todo.



*"I may not have gone where I intended to go, but I think I have ended up where I needed to be."*

— Douglas Adams, *The Long Dark Tea-Time of the Soul*

# ÍNDICE

<i>Resumen</i> .....	<i>i</i>
<i>Agradecimientos</i> .....	<i>v</i>
<b>1. CAPÍTULO 1: Introducción</b> .....	<b>13</b>
1.1. La motivación en la creación y selección de proyectos de infraestructuras de transporte .....	13
1.2. El contexto en la toma de decisiones de proyectos de infraestructuras de transporte en la Unión Europea .....	16
1.3. Objetivo de la investigación .....	20
1.4. Estructura de la tesis .....	21
1.5. Divulgación de la investigación.....	22
<b>2. CAPÍTULO 2: Financiando los proyectos de infraestructuras de transporte</b> .....	<b>23</b>
2.1. Modelos de Financiamiento .....	24
2.1.1. Modelos con Financiamiento Público .....	25
2.1.2. Modelos de Financiamiento Privado .....	26
2.1.3. Modelos de Financiamiento Mixto .....	27
<b>3. CAPÍTULO 3: La toma de decisiones en proyectos de infraestructuras de transporte</b> .....	<b>29</b>
3.1. La Evaluación de Proyectos en infraestructuras de transporte .....	29
3.2. Comentarios de las Evaluaciones ex ante y ex post.....	32
3.3. Evaluación Ex-ante .....	32
3.4. Evaluación Ex-post .....	34

3.5.	Impactos de no directa monetización .....	37
3.6.	Impactos económicos amplios.....	39
<b>4.</b>	<b><i>CAPÍTULO 4: Herramientas de Evaluación de proyectos en infraestructuras de transporte .....</i></b>	<b>43</b>
4.1.	Análisis Coste-Beneficio (ACB).....	43
4.2.	Análisis Multicriterio .....	49
4.3.	El ACB y el MCA en conjunto para la toma de decisiones .....	52
<b>5.</b>	<b><i>CAPÍTULO 5: Revisión sistemática de la literatura científica de los impactos considerados en el ACB.....</i></b>	<b>55</b>
5.1.	Procedimiento .....	56
5.2.	Resultados .....	60
5.2.1.	Periodo de tiempo .....	60
5.2.2.	Distribución de autores por países .....	63
5.2.3.	Distribución modal.....	64
5.2.4.	Relevancia de impactos .....	65
5.3.	Revisión de la literatura .....	67
5.3.1.	Los impactos de no directa monetización en la literatura científica .....	67
5.3.2.	Los impactos económicos amplios en la literatura científica.....	72
5.3.3.	Sobre los impactos de no directa monetización .....	74
5.3.4.	Sobre los impactos económicos amplios .....	79
5.4.	Conclusiones del panorama general de los impactos en el ACB .....	80
<b>6.</b>	<b><i>CAPÍTULO 6: Una revisión de los impactos considerados en diferentes pautas del ACB en proyectos de infraestructura de transporte.....</i></b>	<b>82</b>
6.1.	Revisión de pautas ACB .....	82
6.1.1.	La Guía de ACB para proyectos de inversión en transporte de la EC.....	82
6.1.2.	La Guía de ACB para proyectos de inversión del U.S Department of Transportation.....	83
6.1.3.	La Guía de ACB de la Agencia del Transporte de N.Z. ....	83
6.2.	Revisión de etapas en aplicación del ACB .....	84
6.2.1.	Análisis financiero .....	85
6.2.2.	Análisis económico .....	87
6.3.	Conclusiones del panorama de los impactos en las guías del ACB para proyectos de infraestructura de transporte .....	96

<b>7.    CAPÍTULO 7: Guías para la evaluación de proyectos en infraestructuras de transporte. ....</b>	<b>99</b>
<b>7.1.    Sistema de Evaluación de Inversiones en Transporte (SAIT).....</b>	<b>99</b>
7.1.1.    Funcionamiento .....	101
7.1.2.    Evaluación de los impactos .....	103
7.1.3.    Interpretación de resultados. ....	106
7.1.4.    Tratamiento de la incertidumbre.....	108
<b>7.2.    Railway Project Appraisal Guidelines (RAILPAG).....</b>	<b>112</b>
7.2.1.    Evaluación de proyectos ferroviarios.....	112
7.2.2.    Análisis financieros y económicos.....	116
7.2.3.    Funcionamiento RAILPAG .....	120
<b>7.3.    Public Sector Comparator .....</b>	<b>123</b>
7.3.1.    Consideraciones sobre el PSC .....	126
7.3.2.    Críticas al PSC.....	127
<b>8.    CAPÍTULO 8: Programación lineal en relación con la eficiencia, el análisis envolvente de datos y el problema de la dieta. ....</b>	<b>129</b>
<b>8.1.    Relación Calidad-Precio .....</b>	<b>129</b>
<b>8.2.    Eficiencia.....</b>	<b>134</b>
8.2.1.    Valoración de la Eficiencia .....	134
8.2.2.    Valoración Orientada a los Insumos .....	134
8.2.3.    Valoración Orientada al Producto.....	136
<b>8.3.    Análisis Envolvente de Datos.....</b>	<b>138</b>
8.3.1.    Rendimiento de Escala.....	139
8.3.2.    Modelo CCR .....	139
8.3.3.    Modelo BCC .....	140
<b>8.4.    La formulación dual del modelo CCR .....</b>	<b>140</b>
<b>8.5.    El problema de la dieta.....</b>	<b>143</b>
<b>8.6.    Relación entre el problema de la dieta y el DEA.....</b>	<b>144</b>
<b>8.7.    Relación entre la función de coste y el DEA .....</b>	<b>146</b>
<b>9.    CAPÍTULO 9: Evaluación de proyectos de infraestructuras de transporte en dos etapas con impactos de no directa monetización.....</b>	<b>149</b>
<b>9.1.    Introducción.....</b>	<b>149</b>

9.2.	Propuesta para la evaluación de proyectos de infraestructuras de transporte con impactos de no directa monetización .....	151
9.3.	Ejemplo numérico .....	166
<b>10.</b>	<b><i>CAPÍTULO 10: Caso de Estudio: Conexiones sobre el IJ en Ámsterdam.....</i></b>	<b>173</b>
10.1.	Antecedentes.....	173
10.2.	Primera etapa .....	175
10.2.1.	Obtención del VPN .....	175
10.2.2.	Cuantificación de los impactos sin valor de mercado .....	176
10.3.	Segunda Etapa .....	180
10.3.1.	Problema de programación lineal para la evaluación de alternativas de proyecto en infraestructuras de transporte.....	180
10.4.	Conclusión de la evaluación de las alternativas de proyectos .....	184
10.5.	La selección de la alternativa de proyecto en el IJ.....	186
10.6.	Distribución de los resultados .....	188
<b>11.</b>	<b><i>CAPÍTULO 11: Conclusiones, limitaciones y líneas de futuro.....</i></b>	<b>190</b>
11.1.	Conclusiones .....	190
11.2.	Limitantes de la investigación .....	194
11.3.	Línea de investigación futura.....	194
<b>12.</b>	<b><i>Bibliografía .....</i></b>	<b>195</b>



# **1. CAPÍTULO 1: Introducción**

## **1.1. La motivación en la creación y selección de proyectos de infraestructuras de transporte**

La provisión de infraestructura pública por parte de los gobiernos debe ir a la par de las necesidades de la sociedad, siendo el problema más crítico al que se enfrentan el de su financiamiento (Acciaro M. et al., 2017). La población mundial sigue en aumento ocasionando una mayor demanda de transporte, las infraestructuras de transporte existentes se ven presionadas por el aumento de los usuarios, ocasionando que se necesiten mejoras o nuevos proyectos de infraestructura (H. Jones et al., 2014).

Las infraestructuras de transporte eficientes son esenciales para el buen funcionamiento financiero y de la sociedad, ayudando a incrementar la capacidad productiva y fomentando el desarrollo, y su impacto económico puede ser transformador en especial para quien tiene un bajo nivel de ingresos (Feick & Roche, 2013; Younis, 2014). Por tal motivo es de gran importancia tener una asignación eficiente de la inversión de los recursos públicos en proyectos de infraestructura de transporte, gran parte de estas inversiones son proyectos de transporte terrestre (OECD, 2016).

La finalidad de los proyectos de infraestructura de transporte es crear beneficios mediante una mejor integración del territorio y se desarrollan cuando el usuario hace uso de las infraestructuras para acceder/proveer servicios o realizar viajes de placer. El impacto de la selección eficiente de los

proyectos de infraestructura de transporte es indirecto pero de gran importancia, al abastecer la demanda generada por el movimiento de personas que buscan satisfacer una necesidad o bien el movimiento de mercancías, logrando puestos de trabajo, aumentando los intercambios comerciales y fomentando el crecimiento económico, la accesibilidad geográfica y la movilidad de las personas, fomenta un aumento en la calidad de vida (European Commission, 2011).

El uso de las infraestructuras no solo produce crecimiento económico y bienestar, si no también externalidades, como la contaminación del aire y cambio climático. Por este motivo, durante la selección del proyecto se debe de converger en la maximización del impacto positivo económico y la minimización de la degradación del medio ambiente (European Commission, 2011).

Durante las últimas décadas se han realizado estudios sobre el impacto social de tener acceso a la movilidad, siendo objeto de estudio temas como el rol del transporte en la exclusión social, la importancia de la accesibilidad, la interfase entre el capital social y el transporte, el efecto del transporte en el bienestar humano y cómo afectan las acciones de los responsables en la toma de decisiones a una región (Lowe et al., 2018).

Las infraestructuras de transporte ayudan a recortar distancias y tiempo, siendo pieza central en el aseguramiento de la accesibilidad de viajeros y mercancías. La otra cara de la moneda son sus consecuencias negativas, como la realización de la inversión, su conversión en barreras físicas, la congestión o el ruido. La planificación activa reduce las consecuencias negativas y habilita el cambio hacia infraestructuras de transporte sostenibles, las cuales son necesarias para dirigir el desarrollo hacia una mejor dirección (Banister, 2011; Koglin & Rye, 2014; Meunier et al., 2014).



Seleccionar los proyectos de infraestructuras de transporte correctamente es crucial para lograr los objetivos que lo justifican, sin embargo, la toma de decisiones es un proceso complejo. Debido a las restricciones presupuestarias la priorización de proyectos es esencial para asegurar que los recursos invertidos retornan en los beneficios sociales y financieros esperados. (OECD, 2020).

La habilidad para elegir los mejores proyectos de acuerdo a las necesidades de transporte, recae en gran medida de la calidad de información utilizada pero también de las herramientas para su evaluación y elegir las variables correctas que lleven a pautas para resolver problemas de gestión pública en el momento de la toma de decisiones (Broniewicz & Ogrodnik, 2020).

El termino evaluación de proyecto de transporte se utiliza para describir un procedimiento formal para determinar el beneficio social neto de diferentes alternativas de proyectos de transporte que pueden ser de diferente naturaleza, objetivos, costes y beneficios (Berechman, 2009). Para tener una idea sobre si la planificación está encaminada hacia un correcto desarrollo, diferentes herramientas y modelos ayudan a analizar los proyectos de transporte con la finalidad de estimar sus beneficios en términos monetarios (Laird & Venables, 2017), existiendo un incremento en el interés por conocer los beneficios de naturaleza más social (Johansson et al., 2017).

Dentro del ámbito europeo, la herramienta más utilizada para la evaluación de proyectos de transporte, es el Análisis Coste-Beneficio (ACB), en el se tiene muy claro las variables a utilizar cuando se trata de impactos directos que se traducen fácilmente a términos monetarios, pero no tanto con los impactos indirectos donde no existen valores de mercado disponibles. El Análisis Multicriterio (MCA) es una alternativa que al poder utilizar variables sin valor de mercado se esta utilizando en mayor medida como complemento, o bien como comparación en la evaluación de proyectos con el ACB (Bristow & Nellthorp, 2000).

Los países invierten en proyectos de transporte, en forma de nuevas infraestructuras, ampliaciones, mantenimiento o en reparaciones de la red de transporte. Lo común entre estos tipos de proyecto, es que son producto de la toma de decisiones del sector público en sus diferentes niveles de gobierno y en ocasiones a nivel internacional. A pesar de su importante dimensión técnica y económica, las inversiones en infraestructuras de transporte representan declaraciones políticas parciales de objetivos, priorización de financiamiento y usuarios objetivo (Berechman, 2009).

## **1.2. El contexto en la toma de decisiones de proyectos de infraestructuras de transporte en la Unión Europea**

La infraestructura de transporte para la Unión Europea (UE) es esencial al ser un mercado único, por lo que debe tener una red de transporte firme que vincule a sus miembros, ya que, sin ella el mercado interno se vería afectado. Por tal motivo, se ha abordado en todos los niveles de gobierno resolver el dilema que existe entre las políticas que fomentan el crecimiento económico y en consecuencia la generación de más proyectos de infraestructura de transporte y las políticas medioambientales que exigen la reducción del impacto ambiental (Villa et al., 2020). La inversión en infraestructura de transporte se ha visto afectada por la recesión económica desde el 2008, el porcentaje del Producto Interior Bruto (PIB) destinado a proyectos de infraestructura se encuentra en un punto bajo, lo que recuerda la limitación de los recursos a pesar de las necesidades actuales de transporte (OECD, 2019a).

Las inversiones se han centrado en mejorar la calidad del transporte, accesibilidad, movilidad y seguridad, a la vez que se satisface la demanda (European Commission, 2014). A pesar de los recursos limitados y de la necesidad de asignarlos de la mejor manera posible, se ha demostrado que las herramientas para la evaluación de proyectos han tenido poca relevancia

durante el proceso de toma de decisión y muchas veces son consideradas como obstáculos tediosos para obtener la inversión necesaria para el proyecto (European Parliament, 2019). Otro problema es el entusiasmo en el ACB, el evaluador puede tender a ser demasiado optimista sobre los parámetros clave del proyecto, ocasionando que los beneficios reales sean menores o imposibles de lograr (ECA, 2018).

El rol de las herramientas para la evaluación de proyectos pasa por informar a los tomadores de decisiones sobre datos relevantes, para que de esta manera se puedan priorizar proyectos de un mismo programa, elegir las mejores alternativas de solución para un problema, conocer los beneficios sociales de los proyectos y sobre todo elegir si es el momento adecuado para realizar la inversión.

Dentro de la Unión Europea (UE) la herramienta habitual para evaluar un proyecto es mediante el ACB y la metodología de análisis multicriterio (MCA) como medio de apoyo para los tomadores de decisiones en la formación de una opinión racional sobre los diferentes beneficios y costes de las alternativas de proyecto estudiadas (Bristow & Nellthorp, 2000). En 25 países europeos, como se puede comprobar en la tabla 1, los tipos de análisis más utilizados para la evaluación de proyectos de transporte por carretera son: el ACB, el MCA, Medidas Cuantitativas (QM), Evaluaciones Cualitativas (QA) y No Disponible (NA) (Odgaard et al., 2005):

<i>Country</i>	<i>ACB</i>	<i>MCA</i>	<i>QM</i>	<i>QA</i>	<i>NA</i>
<i>Austria</i>	x	x	x	-	-
<i>Belgium</i>	x	-	x	-	-
<i>Cyprus</i>	x	x	-	x	-
<i>Czech Republic</i>	x	x	-	-	-
<i>Denmark</i>	x	-	-	-	-
<i>Estonia</i>	x	-	-	-	-

<i>Finland</i>	x	-	x	-	-
<i>France</i>	x	-	-	-	-
<i>Germany</i>	x	-	-	x	-
<i>Greece</i>	x	-	-	x	-
<i>Hungary</i>	x	x	-	-	-
<i>Ireland</i>	x	-	x	x	-
<i>Italy</i>	x	-	-	-	-
<i>Latvia</i>	x	-	-	-	-
<i>Lithuania</i>	x	-	-	-	-
<i>Malta</i>	x	-	-	-	-
<i>Netherlands</i>	x	-	x	-	-
<i>Poland</i>	x	x	-	-	-
<i>Portugal</i>	x	-	-	-	-
<i>Slovak Republic</i>	x	x	-	-	-
<i>Slovenia</i>	x	-	-	-	-
<i>Spain</i>	x	x	-	-	-
<i>Sweden</i>	x	-	-	-	-
<i>Switzerland</i>	x	x	-	-	-
<i>UK</i>	x	x	x	x	-
<i>Total</i>	25	9	6	5	0

Tabla 1. Tipo de análisis por país para evaluación de proyectos de carreteras. Ref: Adaptado de Odgaard et al. (2005).

El transporte contribuye al crecimiento económico permitiendo un mercado global, pero también da lugar a externalidades, algunas de las cuales pueden ser expresadas en términos monetarios. Los costes externos son los efectos impuestos a la sociedad, en contraste con los beneficios, que generalmente no son asumidos por los usuarios de la infraestructura y, por lo tanto, no se tienen en cuenta en el proceso de toma de decisión.

La internalización de estos costes significa hacer que tales efectos formen parte del proceso de toma de decisiones mediante el uso de instrumentos basados en el mercado, y se considera generalmente una forma eficaz de limitar los efectos secundarios negativos del transporte (European Commission, 2019).

En Odgaard et al. (2005) se mencionan los efectos que son utilizados dentro del ámbito europeo, siendo:

- Costes de Infraestructura: costes de construcción, costes de operación y mantenimiento del sistema.
- Beneficios para el usuario: ahorro de tiempo en el transporte de pasajeros, costes operativos del vehículo, beneficios para el tráfico de mercancías.
- Externalidades: accidentabilidad, ruido, contaminación del aire (local - regional), cambio climático.

Según Odgaard et al. (2005) en 25 países europeos el ACB se utiliza en mayor medida según el tipo de elemento a evaluar, el cual se complementa con otro tipo de análisis. La tabla 2 muestra la distribución de los tipos de análisis utilizados en los países del estudio. Se puede ver que los países utilizan en su mayoría para los efectos puramente convertibles a términos monetarios el ACB:

<i>Effects</i>	<i>ACB</i>	<i>MCA</i>	<i>QM</i>	<i>QA</i>	<i>NA</i>
<i>Construction Cost</i>	25	4	1	1	0
<i>Disruption from construction</i>	10	1	0	6	11
<i>System operating cost and maintenance</i>	24	4	2	2	0
<i>Passenger transport saving</i>	24	4	3	2	0
<i>User charges and revenues</i>	17	1	1	3	6
<i>Vehicle operating costs</i>	23	4	1	0	2
<i>Benefits to goods traffic</i>	17	2	1	1	8
<i>Safety</i>	24	4	3	1	0
<i>Noise</i>	13	3	7	8	3
<i>Air Pollution - Local/Regional</i>	14	2	5	7	3
<i>Climate change</i>	8	1	3	7	10

Tabla 2. Tipo de análisis por impacto. Referencia: Adaptado de Odgaard et al. (2005).

En el año 2016, los costes externos sin considerar la congestión en los países de la UE ascendieron a 726 000 millones de euros y los costes de congestión a los 271 000 millones de euros, sumando un total de 987 000 millones de euros, representando el 6,6% del PIB. El transporte por carretera es el sector con mayor incidencia en los costes externos, siendo el responsable del 83% del total, los sectores del transporte marítimo y aéreo del 17% restante. Estos valores tienen en cuenta los costes de accidentes, congestión, cambio climático, contaminación del aire, daños ambientales y ruido (European Commission, 2019).

### **1.3. Objetivo de la investigación**

El objetivo principal de esta tesis, puesto que los métodos actuales no incorporan algunos tipos de impactos de difícil cuantificación y monetización, pretende explorar y desarrollar una técnica para la valoración de dichos impactos en la evaluación de proyectos en infraestructuras de transporte. La tesis constituye, por tanto, un proceso para lograr una técnica para incluir dichos impactos en el proceso de la evaluación de proyectos. Los impactos no considerados en dicha evaluación tienen diferentes naturalezas, y aunque se ha trabajado para considerarlos, logrando incluir impactos ambientales, aún faltan algunos de más difícil cuantificación y monetización que por lo regular tienen una naturaleza más social.

Los objetivos específicos de la tesis son:

- Conocer las herramientas que son utilizadas actualmente en la evaluación de proyectos de infraestructuras de transporte.
- Conocer la clasificación de los impactos no considerados en la evaluación de proyectos.

- Realizar una revisión de los impactos considerados en guías de evaluación de proyectos a nivel internacional.
- Efectuar una investigación sobre el avance de la cuantificación de los impactos no considerados en el CBA.
- Conocer el efecto que pueden tener estos impactos en la toma de decisiones si pusieran ser consideradas.

#### **1.4. Estructura de la tesis**

El **capítulo 2** ofrece una revisión de los modelos de financiamiento para los proyectos de infraestructura de transporte. El **capítulo 3** describe la toma de decisiones en la evaluación de proyectos de infraestructura de transporte, los tipos de evaluación y los tipos de impacto que se consideran. El **capítulo 4** reseña las principales herramientas utilizadas para la evaluación de proyectos de infraestructura de transporte.

En el **capítulo 5** se realiza una revisión sistemática de literatura científica para conocer el avance del estudio de los impactos a considerar en la evaluación de proyectos. El **capítulo 6** provee una revisión de tres guías internacionales del ACB, mencionando los impactos que considera. El **capítulo 7** es una revisión de 3 guías europeas utilizadas para la evaluación de proyectos de infraestructura de transporte. En el **capítulo 8** se detallan las funciones que se utilizarán para asignar el valor monetario a los impactos a considerar en la evaluación de proyectos.

En el **capítulo 9** se describe la técnica con la que se propone utilizar un modelo de programación lineal para la monetización de los impactos sin valor de mercado a estudiar. El **capítulo 10** es un caso práctico con datos reales de una evaluación de proyectos en la ciudad de Ámsterdam. El **capítulo 11** presenta las conclusiones generales donde se comenta los resultados en el contexto de los objetivos de la investigación.

## 1.5. Divulgación de la investigación

Durante la realización de esta tesis se ha publicado trabajo relacionado con la investigación en revistas científicas. Se ha participado en congresos relacionados con el campo del transporte.

Publicaciones:

- Regalado López, F. J., & Cacheda, J. M. C. (2018). An approximation to technical efficiency in Spanish toll roads through a DEA approach. *Transportation Research Procedia*, 33, 386-393. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.11.005>
- Regalado López, F. J., Campos Cacheda, J. M., & Marchán, S. S. (2021). Criteria for optimizing a road network. *Transportation Research Procedia*, 58, 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.11.017>

Congresos:

- XIII Congreso de ingeniería del transporte CIT 2018, Gijón.
- XIV Congreso de ingeniería del transporte CIT 2021, Burgos.



## **2. CAPÍTULO 2: Financiando los proyectos de infraestructuras de transporte**

El termino infraestructura pública según Heald & Georgiou (2011) es “la diversa colección de bienes públicos que sustenta la economía, siempre y cuando sea proporcionada y gestionada”. La administración pública en respuesta a sus problemas de financiamiento para las infraestructuras ha tomado la estrategia de incluir al sector privado en el ciclo de prestación de servicios públicos, transformándose de un proveedor a un facilitador.

Entre los factores para que la administración pública permita una mayor participación del sector privado dentro del desarrollo de las infraestructuras de servicio, se encuentra la transmisión de riesgo hacia esta, además de su buen comportamiento ante estos riesgos. De igual manera existe un aumento en la eficiencia y calidad del servicio prestado a los usuarios, generando mayores ganancias y la posibilidad de la expansión en los servicios.

Para lograr el éxito de una infraestructura de transporte Grimsey & Lewis (2002b) sugieren la transferencia de riesgo entre la administración pública y el sector privado como medio para asegurarla. Esto mientras la administración pública cumple su objetivo de facilitar un servicio con un mayor nivel de calidad, a la vez que el sector privado cumple con sus obligaciones contractuales correctamente y eficientemente. Pero esto se logrará solamente cuando exista un sólido flujo de ingresos sobre el periodo de concesión.

Dentro de la evaluación de proyectos de las infraestructuras de transporte, la incertidumbre aumenta los riesgos de fracaso de los proyectos, por tal motivo se han desarrollado y afinado métodos estadísticos como la simulación de Monte Carlo o el análisis de sensibilidad para la toma de decisiones. A pesar de esto dentro de las infraestructuras de transporte existe algo recurrente, se construyen grandes y costosas infraestructuras que no justifican su construcción, resultando todo lo contrario a lo que se esperaban de éstas.

## **2.1. Modelos de Financiamiento**

El déficit presupuestario siempre ha existido, causando un problema de financiamiento para los proyectos de infraestructura de transporte, lo nuevo son las formas con las que se conducen los recursos económicos y así poder realizar los proyectos. La necesidad de seguir construyendo o renovando infraestructuras ha influido en la adaptación de las herramientas de financiamiento ante la constricción presupuestaria. Estas formas incluyen la participación del sector privado para financiar o gestionar obra pública compensando mediante una tarifa que puede ser pagada o no por el usuario por uso de la infraestructura.

Según Srebrisky, Tomás; Suárez, Ancor; Margot, Diego; Ramirez & Ramirez (2015) a pesar que tanto la administración pública como el sector privado pueden realizar financiamiento en infraestructura, únicamente la primera puede planificarlas y regularlas, y así mismo necesita una adecuada supervisión que asegure que el servicio prestado sea el adecuado a los usuarios. Cada nueva infraestructura trae consigo externalidades positivas, como el efecto red y negativas, como las ambientales y sociales, por lo cual se justifica que la administración pública sea la encargada de su planificación.

Una de las decisiones que toma la administración pública es delimitar quien paga la tarifa por uso de infraestructura de servicio, se puede definir que el usuario pague una tarifa o bien la administración mediante la llamada "*Shadow*

*Toll*" (Peaje Sombra) en donde se encarga de realizar el pago por el usuario. El decidir que la administración pública realice el pago de la tarifa significa que los contribuyentes son los encargados de pagar mediante sus impuestos el servicio a los usuarios.

Según Vasallo Magro & Izquierdo Bartolomé (2010) para el financiamiento de las infraestructuras existen diversos modelos, que se pueden dividir en diferentes clases: a) Financiamiento Público; tanto presupuestal, como extra-presupuestal con aplazamiento de pagos, b) Financiamiento Privado; Sistema concesional puro, c) Financiamiento Mixto.

Estos modelos pueden ser administrados mediante cualquiera de los sistemas de gestión directa o indirecta aprobados según la normativa. Los autores mencionan que es apropiado que estos modelos sean clasificados según la procedencia de sus recursos económicos y tipo de gestión, como se muestra en la siguiente figura y se desarrolla más adelante.

<i>Modelos</i>		<i>Pública</i>	<i>Pública con Privada</i>	<i>Mixta</i>
			<i>Aplazamientos de Pago</i>	
<i>Gestión</i>	Directa	Contrato de obra con abono de certificaciones	Método Alemán	
	Indirecta	Arrendamiento	Peaje Sombra (Shadow Toll)	Concesión Tradicional Fórmulas Mixtas

Tabla 3. Modelos de gestión y financiamiento de infraestructuras de transporte. Fuente: Adaptada de Vasallo Magro & Izquierdo Bartolomé (2010).

### **2.1.1. Modelos con Financiamiento Público**

Según Vasallo Magro & Izquierdo Bartolomé (2010) el financiamiento público es el modelo tradicional por el cual por muchos años la Administración Pública

(AP) ha realizado el desarrollo de sus infraestructuras. Utilizar financiamiento público para desarrollar las infraestructuras significa que en realidad los contribuyentes son los que realizan la inversión, la cual se efectúa mediante el uso de partidas presupuestales vía directa con cargo a la partida de inversiones reales o con cargo a transferencias corrientes (subvenciones). De igual manera, la AP puede contribuir a empresas públicas de capital, considerando estas como inversiones financieras.

### **2.1.2. Modelos de Financiamiento Privado**

Según Mendizabal, Miera, & Mitxco (2000) el sistema de financiamiento privado puro no recibe recursos de la AP, correspondiendo a un régimen concesional en donde el concesionario construye, conserva y explota la infraestructura durante un lapso de tiempo determinado, dándole el derecho de recibir una retribución económica por parte de los usuarios de dicha infraestructura.

Según Vasallo Magro & Izquierdo Bartolomé (2010) para que la concesión mantenga su esencia de financiación privada sin cargo al presupuesto de la AP, debe existir la transferencia de riesgo al concesionario. La AP nunca pierde la titularidad de las infraestructuras financiadas.

Según Srebrisky, Tomás; Suárez, Ancor; Margot, Diego; Ramirez & Ramirez (2015) en el financiamiento privado de infraestructuras los inversionistas tienen la posibilidad de conducir sus recursos directamente en el proyecto a desarrollar comprometiendo su capital o bien prestando a empresas de infraestructuras. Los recursos pueden asignarse mediante instrumentos cotizados en la bolsa, como acciones de empresas de infraestructuras o bonos de estado. También mediante instrumentos no cotizados en la bolsa como transacciones de capital o deuda y las realizadas mediante mercados privados o inversiones en fondos de infraestructuras no cotizados.

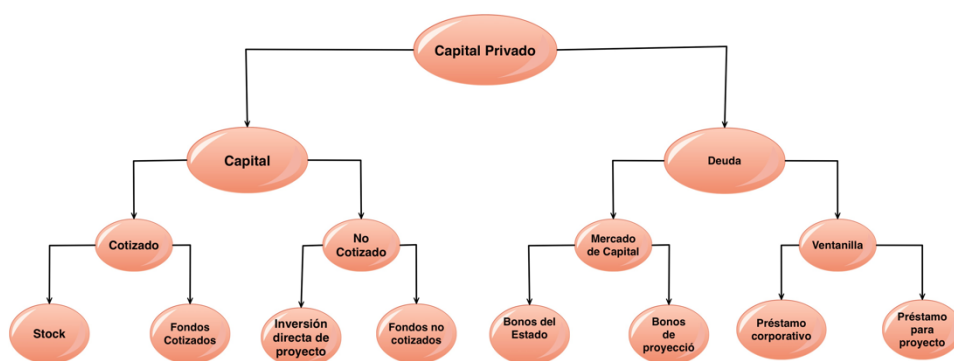


Figura 1. Tipos de financiamiento privado. Fuente: Elaboración con datos de Srebrisky, Tomás; Suárez, Ancor; Margot, Diego; Ramirez & Ramirez (2015).

### 2.1.3. Modelos de Financiamiento Mixto

La encargada del desarrollo de infraestructuras de servicios es la administración pública, la cual muchas veces debe de realizar un proyecto con una justificación social. Este tipo de infraestructura no logra sostenerse desde la perspectiva financiera, por lo cual no es atractiva para el sector privado, por este motivo se emplea financiamiento mixto

En este tipo de financiamiento el aporte inicial y la gestión de la infraestructura es realizado por el sector privado, pero recibirá durante el plazo contractual recursos de la administración pública como medio de apoyo. Por lo tanto, el origen de los recursos que obtendrá el sector privado será el pago del usuario, mediante una tarifa y el aporte de la administración pública mediante apoyos. Este tipo de apoyos son útiles para alcanzar una adecuada rentabilidad y a la vez mantener una tarifa competitiva para los usuarios.

Según Vasallo Magro & Izquierdo Bartolomé (2010) existen diferentes tipos de apoyos con los cuales la administración pública pretende encontrar la estabilidad financiera de los proyectos de infraestructuras con fines sociales, de los cuales se pueden mencionar:

- Contribución de la administración pública para el financiamiento de infraestructura que pueden ser en forma de capital, subvenciones o préstamos reintegrables con o sin interés, en situaciones extraordinarias.
- Aportes de otras entidades públicas distintas de la administración pública adjudicataria pudiendo ser nacionales o internacionales.
- Aportes de la administración pública pudiendo ser del tipo no monetaria, durante cualquier etapa del proyecto.
- Contribuciones al inicio y durante el plazo de explotación de la infraestructura para garantizar su estabilidad financiera, las cuales pueden ser subvenciones parciales a la tarifa, anticipos reembolsables, préstamos participativos o subordinados.
- Deuda subordinada pública para el financiamiento de la construcción y explotación de la infraestructura concesionada. Con esto se logra aumentar la garantía del proyecto ante instituciones financieras y disminuye el gasto, haciendo que las tarifas sean competitivas para los usuarios.

Dentro del modelo de financiamiento mixto donde existe la colaboración de la administración pública y sector privado, existen los llamados modelos de Participación Público-Privada (PPP).

# **3. CAPÍTULO 3: La toma de decisiones en proyectos de infraestructuras de transporte**

## **3.1. La Evaluación de Proyectos en infraestructuras de transporte**

El presupuesto para la inversión en infraestructuras es limitado, los tomadores de decisiones pueden tener múltiples proyectos sobre la mesa, dificultando procesar todas las opciones. Ante esto, los seres humanos tendemos a centrarnos en uno o pocos aspectos para agilizar las decisiones. La evaluación sistematizada ayuda a la estructuración de la información y a considerar una mayor cantidad de aspectos, permitiendo crear órdenes de magnitud comparables entre proyectos con sus costes, impactos positivos y negativos. Esto ayuda a los tomadores de decisiones al tener una traducción de estos impactos y costes en magnitudes, ayudando a la reducción del sesgo del optimismo en el proyecto (Mackie et al., 2014).

La evaluación de proyectos es el proceso de identificar, cuantificar y valorar la inversión a realizar mediante los beneficios proyectados de un proyecto en un determinado periodo de tiempo. Es usual que los gobiernos de los diferentes países inviertan una parte importante de su Producto Interior Bruto (PIB) en infraestructura y en especial en la de transporte, puede ser en forma de

mantenimiento, expansión, obra nueva o hasta compra de infraestructura construida (Fay et al., 2019; OECD, 2019a).

En la UE, la evaluación es una herramienta de apoyo al proceso de planificación de las infraestructuras de transporte: Proporciona información relevante a los tomadores de decisiones, pero la evaluación no "toma" las decisiones. Los tipos de decisión respaldados por la evaluación incluyen: priorizar proyectos dentro de un programa; elegir entre varias alternativas de proyecto que presenten soluciones a un problema común; decidir si los proyectos particulares representan una buena relación costes-beneficios sociales; y elegir los momentos óptimos para emprender una inversión (Bristow & Nellthorp, 2000).

Dentro del proceso de evaluación de proyectos, como se muestra en la figura 2, existen tres tipos de valoraciones en diferentes puntos del ciclo de vida del proyecto, *ex ante* es una valoración inicial con la finalidad de identificar la alternativa que producirá el mayor beneficio de una inversión prevista. La evaluación *in media res* cuando el proyecto se encuentra en ejecución y la valoración *ex post* a la conclusión del proyecto sirven como retroalimentación para la mejora del proyecto o para obtener información de utilidad para el diseño de futuros proyectos (De Rus et al., 2010).

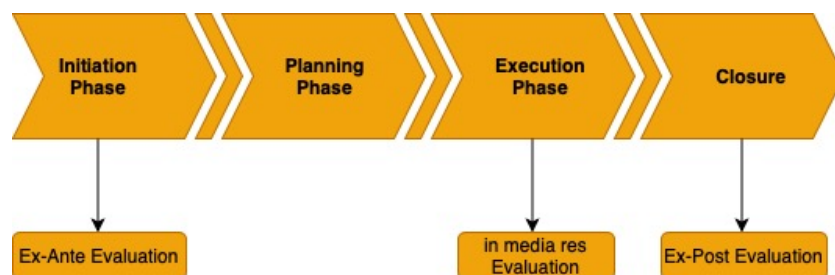


Figura 2. Ciclo de evaluación de proyecto. Referencia: Elaboración con datos de De Rus et al. (2010).



La Comisión Europea (EC) menciona estos tres tipos de evaluación para su programa 2014-2020, mientras que la evaluación *ex ante* es responsabilidad de los estados miembros y el *ex post* de la EC, la evaluación *in media res* puede ser llevada por ambas partes (European Commission, 2017).

La industria es mejor en las evaluaciones *ex ante* y *ex post*, debido a su enfoque limitado a la rentabilidad y a la satisfacción del usuario, siendo su realización su enfoque económico. Las administraciones públicas no tienen incentivos tan sencillos, necesitando un proceso más complejo que un objetivo económico, debido a la búsqueda del beneficio socioeconómico. Además, en general es difícil que alguien se responsabilice de los logros o carencias de los objetivos planteados como sí sucede en la industria (Samset & Christensen, 2017).

Es paradójico la poca frecuencia con la que se realizan evaluaciones metódicas *ex ante* y *ex post*, siendo la primera importante para encontrar la mejor solución entre diferentes alternativas y la segunda para obtener información que sirve de aprendizaje para futuros proyectos (Samset & Christensen, 2017).

La OECD concuerda en que sus miembros no realizan de forma sistemática estos tipos de evaluación y se encuentra centralmente menos regulada. La figura 3 muestra el dominio de los ministerios y agencias de gobierno en la toma de decisiones (OECD, 2019c). Por tal motivo organizaciones como la Unión Europea y la OECD hacen esfuerzos para presentar una estructura más sistematizada y regulada entre sus miembros para lograr un mayor retorno de beneficios por inversión realizada.

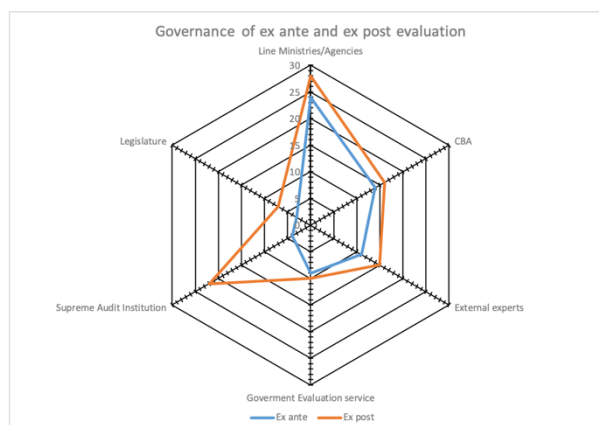


Figura 3. Gobernanza de las evaluaciones ex-ante y ex-post. Fuente: Elaborado con datos de OECD (2019c).

La evaluación en los procesos de consulta pública tiene un gran papel, además proporciona el marco que determina la planificación del proyecto, sustentando gran cantidad de trabajo sobre las opciones de diseño y su desarrollo. La creación, evaluación y aprobación de un proyecto de transporte es un proceso dinámico. El primer paso es tener una idea, la cual entra en un área de prueba y ver si es coherente con la política o la aspiración política vigente. El juicio puede ser susceptible a factores tales como ¿de quién fue la idea en primer lugar?, ¿dónde se realizará?, ¿quién se beneficiará?, ¿quién la financiará?, y ¿cuánto capital político se necesitará para llevarla a cabo? (Mackie et al., 2014).

### 3.2. Comentarios de las Evaluaciones Ex-Ante y Ex-Post

### 3.3. Evaluación Ex-Ante

La evaluación ex-ante es un proceso iterativo y muchas veces depende del entusiasmo de los funcionarios gubernamentales que participan y la experiencia del evaluador (Banks, 2000). Ese entusiasmo puede tener repercusiones al evaluar un proyecto dado a que se puede caer en opiniones

muy optimista en su comportamiento (Kuipers & Wouter, 2011). En las infraestructuras de transporte el impacto de este optimismo puede ser un sobrecoste en las infraestructuras debido a su sobredimensionamiento por la proyección de la demanda (Skamris & Flyvbjerg, 1997).

El principal beneficio de la evaluación ex ante es identificar la mejor solución al problema planteado tratando de evitar soluciones costosas e ineficaces, tomando en consideración los efectos de los proyectos a evaluar (Samset & Christensen, 2017). El problema puede ser que los impactos sociales pueden permanecer subexpuestos, pero no significa que se deben ignorar, la dificultad puede ser que a menudo no se puede hacer la distinción entre impactos sociales, ecológicos y económicos (Geurs et al., 2009).

Debido a que estos impactos no son solamente para los usuarios de las infraestructuras, son para la sociedad en general, varios países han realizado estudios investigando la relación entre la productividad y las mejoras en las infraestructuras de transporte mediante evaluaciones ex-ante. Se han encontrado desde beneficios adicionales insignificantes hasta beneficios que son varias veces superiores a los beneficios para los usuarios de la infraestructura (Tveter, 2020).

Los problemas que se intentan solucionar en el área del transporte se encuentran entre los más complejos y difíciles de resolver también debido a la variedad de partes interesadas involucradas, sobre todo siguiendo los retos de infraestructuras de transporte sostenibles (Le Pira et al., 2017). Por tal motivo poder disponer de herramientas fiables para la evaluación ex-ante es clave en los procesos de toma de decisiones relacionados con la elección de medidas dentro de varias alternativas, lográndose por lo general al unir varias herramientas diferentes (Filippi et al., 2010).

### **3.4. Evaluación Ex-Post**

Según Worsley (2014) al escuchar el termino “evaluación ex-post”, se piensa que esta sucederá después de haberse completado el proyecto, pero generalmente ocurre al concluir la etapa de construcción. Esto no implica una limitación temporal para realizar la evaluación, existiendo la posibilidad de hacerla en cualquier etapa previa a la conclusión del proyecto.

Entonces, ¿Cuál es la motivación al utilizar este tipo de evaluación en los proyectos? Según los autores OCDE (2016); Welde & Volden (2015) la evaluación Ex Post funciona como mecanismo de mejora para el análisis ex-ante, de la siguiente manera:

- Ayuda a reconocer el tipo de proyectos que funcionan bajo ciertas circunstancias y el efecto de las inversiones no relacionadas con el transporte y su relación/efecto con las inversiones en transporte cuando se realizan a la par.
- Permite una transparencia del trabajo realizado por las administraciones públicas, además de poder medir el éxito de los proyectos y así justificar el uso de recursos públicos en estos.
- Asiste en la definición del periodo de tiempo en el cual se refleja el impacto de la inversión. De esta manera se realiza un juicio más acertado de las consecuencias de esta.
- Con este tipo de evaluación se puede mejorar la comunicación e información proporcionada a la ciudadanía.

La evaluación sistemática ex post sirve de apoyo a la toma de decisiones, sin embargo, requiere el apoyo político de representantes elegidos y de la administración pública (OECD, 2015a). Las revisiones ex-post son el elemento más débil del ciclo regulatorio, ya que regularmente no se tiene la obligación legal de llevarlas a cabo (OECD, 2018b). La evaluación ex-post es

menospreciada en el proceso de valoración y reglamentación para la infraestructura de transporte, siendo la predilección la evaluación ex-ante (Worsley, 2014).

La falta de interés en realizar evaluaciones ex-post puede ser, en primer lugar, porque los responsables de la formulación de políticas están por naturaleza centrados en el futuro, no en el pasado. Otra razón sería un "sesgo de optimismo" ser crítico al comienzo de un proyecto, lo que significa que los involucrados (ex-ante) a menudo tienen opiniones demasiado optimistas sobre un proyecto, y obtener evaluaciones negativas puede dañar la reputación profesional de una persona. La tercera razón sería la falta de financiación, la capacidad organizativa, etc. Finalmente, no solo es difícil definir los efectos de un proyecto en particular, sino también imaginar la situación en donde el proyecto no se hubiera realizado (Kuipers & Wouter, 2011).

Las principales consideraciones en la evaluación ex ante de un proyecto de transporte suelen ser el coste de construcción, el ahorro de tiempo de viaje, la disminución de la congestión y la seguridad. Por lo tanto, las evaluaciones ex-post se han centrado en comparar los resultados previstos y reales solo en estos aspectos, teniendo como plazo de evaluación de 1 a 5 años después de inicio de operación del proyecto. Sin embargo, estos análisis son útiles para comprobar la generación de beneficios proyectada, qué proyectos funcionan mejor, cual es el peor de lo esperado y el motivo (Jong et al., 2019).

En las últimas décadas, un tema clave de la reforma del sector público en los países de la OCDE ha sido el surgimiento y desarrollo de políticas regulatorias. Sin embargo, estas reformas iniciales asumieron a menudo que la evaluación era de naturaleza episódica y puntual. La evaluación informa a los tomadores de decisiones sobre el estado de un proyecto para que continúe ofreciendo un apoyo efectivo a los objetivos de las políticas públicas. El ciclo regulador da efecto práctico a la política regulatoria. La gobernanza regulatoria eficaz

maximiza un impacto positivo en la economía y la sociedad, evaluando que los proyectos cumplan con sus objetivos (OECD, 2019b).

Es importante mantener el sistema de ciclo regulador, utilizando las herramientas clave de evaluación de impacto ex ante y la evaluación ex post en la toma de decisiones. Esto implica el control de calidad del proyecto, la mejora sistemática del proyecto y coordinar la evaluación ex-post para revisión de proyectos y para perfeccionamiento de los métodos ex-ante (OECD, 2015b).

Al diseñar las herramientas de evaluación y monitoreo, en la fase ex ante, se debe de tener cuidado de no obstaculizar la evaluación ex-post (Luchetta, 2012). Los esfuerzos de la EC en realizar el ciclo regulador vinculando la evaluación ex-ante y ex-post trae varios desafíos, por ejemplo, que los resultados de la evaluación ex-post se encuentren disponibles para el próximo proyecto. Existe la posibilidad que los esfuerzos se centren en proporcionar datos a la evaluación ex ante para nuevos proyectos mediante la evaluación ex-post (Smismans, 2015).

Para Ilzkovitz & Dierx (2015) una buena base de datos es esencial para las evaluaciones cualitativas, por lo tanto, la recolección de datos debería de ser la primera actividad para la ejecución de la evaluación ex-post. Pero, el procedimiento ex-post se complica debido a la falta de recolección de datos por parte de la administración pública (Welde & Volden, 2015).

Los autores Ilzkovitz & Dierx (2015) mencionan tres pasos (preparación, ejecución y aprovechamiento) para realizar la evaluación ex-post, las cuales engloban una serie de puntos clave para desarrollar con éxito la evaluación:

#### A. Preparación

- 1) Definir el objetivo principal de la evaluación

- 2) Seleccionar el tema y formular las preguntas principales de la evaluación
  - 3) Seleccionar los métodos a utilizar, considerar la necesidad en datos y comprobar la viabilidad de la evaluación
  - 4) Escoger al equipo evaluador
- B. Ejecución
- 5) Recolección de datos
  - 6) Refinar la metodología e identificar los indicadores principales a analizar
  - 7) Llevar a cabo el análisis
- C. Aprovechamiento
- 8) Comprobar la solidez de la metodología y resultados
  - 9) Esquematizar las conclusiones útiles de una manera sintética para los responsables en la administración pública
  - 10) Considerar la divulgación y difusión activa de los resultados

La evaluación ex-post es una herramienta muy valiosa para verificar si la decisión adoptada fue la correcta y de esta manera tomar mejores decisiones en el futuro.

### **3.5. Impactos de no directa monetización**

En el ACB se presenta el mayor número de impactos convertidos en términos monetarios como medida de comparación común. Existen impactos que no tienen un valor monetario, pero se pueden derivar mediante la investigación de sus efectos. Aunque a veces es impráctico o poco viable realizarlos, no significa que se les deba restar importancia (Department of Transport, 2018). El ACB se basa en supuestos y omite efectos difíciles de medir, en ocasiones estas suposiciones y omisiones son irrelevantes, pero en algunos casos son relevantes (Börjesson et al., 2014a). Existe un sesgo del ACB a utilizar impactos

e indicadores que pueden ser monetizados en su evaluación (Ustaoglu et al., 2016a).

Estos efectos suelen incidir en la sociedad y no solo a un grupo en específico, por eso existe el deseo de cuantificar a términos monetarios los impactos (intangibles) de las propuestas de proyecto. Teniendo el problema que el valor otorgado por la sociedad a estos impactos no puede observarse simplemente con referencia a la información disponible en el mercado, como los niveles de precio y consumo (OECD, 2018a).

Algunos impactos llevan tiempo valorándose en términos monetarios, pero sin existir un consenso en la forma de valoración (Bristow & Nellthorp, 2000). Habiendo detractores que consideran que no todo debe de convertirse a términos monetarios (Ackerman & Heinzerling, 2002). Las alternativas no necesariamente deben de ser comparables para poder elegir la mejor (Sen, 2000). Actualmente, se le da la misma importancia a los impactos que pueden medirse monetariamente y los que no (Mackie et al., 2014).

En la tabla 4 se encuentra algunos impactos no monetarios presentes en los proyectos de infraestructura de transporte.

<b>Impactos sociales indirectos</b>	<b>Impactos medioambientales</b>
Accesibilidad	Agricultura, silvicultura y suelo
Accidentes y seguridad	Calidad del aire
Perturbación de la comunidad, Deterioro de la calidad de vida	Biodiversidad y naturaleza
Equidad y efectos distributivos	Huella de carbono
Uso de suelo y desarrollo urbano	Huella de material
Prestigio e imagen	Residuos sólidos y su eliminación
Crecimiento e innovación de la industria ferroviaria	Contaminación del agua y suelo
Desarrollo económico regional y regeneración	Recursos hídricos y riesgo de inundación

Tabla 4. Impactos de no directa monetización en la evaluación de proyectos. Referencia: Adaptado de Cornet et al. (2018).



La creciente conciencia de la variedad de impactos producidos por las inversiones de transporte ha producido que se necesiten métodos de evaluación más exhaustivos y fiables (Gühnemann et al., 2012a). En el ACB, al valorar la contribución de la inversión en un proyecto de transporte al bienestar de la región o país, los insumos se basan en el coste de oportunidad y los productos en la disposición de pago de los usuarios (WTP). Teniendo en cuenta que el coste de oportunidad no siempre se corresponde con el coste financiero, resulta que la disposición de pago de los usuarios no representa los precios de mercado, que pueden encontrarse distorsionados o incluso no existir (Siciliano et al., 2016).

### **3.6. Impactos económicos amplios**

La definición de un Wider Economic Impacts (WEI) es el beneficio que no se captura en los beneficios directos del usuario, tras tener en cuenta los costes medioambientales y otros costes externos impuestos directamente. Pueden ser positivos o negativos, implicando que los beneficios netos del usuario directo pueden sobreestimar el valor de un proyecto (Vickerman, 2008). Los WEI's son impactos significativos que son transmitidos a la sociedad en general con las mejoras en el transporte y surgen debido a las distorsiones o fallos de mercado haciendo que la economía no funcione de forma eficiente, por este motivo, los beneficios directos no recogen todo el bienestar asociado a una inversión en transporte (Department of Transport, 2016).

En los últimos años se ha prestado mayor atención a la relación de los impactos económicos del transporte. Se ha trabajado en la actualización del ACB, a pesar de considerarse un marco maduro y que ha cambiado poco desde su desarrollo, debido a las crisis económicas, medioambientales y por su puesto las limitaciones financieras. La evaluación se centra más en el mejor uso de los insumos existentes y en las diferentes opciones de la gestión de esos insumos (Mackie et al., 2011)

Los impactos de los WEI no se pueden obtener con un ACB convencional, debido a que no se centran en los beneficios directos para el usuario. Supone un reto incorporarlos en el ACB, pudiendo ser un riesgo que malos argumentos parezcan legitimados y de que se exageren los efectos. Por esto es necesario estudiarlos y conocer los mecanismos a través de los cuales pueden producirse, encontrando la forma de cuantificarlos y aplicarlos en la evaluación de proyectos de transporte (Venables, 2017) .

Para incluirlos dentro de la evaluación también es necesario identificar la existencia de fallas en el mercado. De no existir los cambios pueden ser tomados como nulos. Pero de existir, se creará un beneficio o coste adicional. Además, los cambios locales deben situarse en el contexto del agregado nacional para tener una visión completa, ya que la creación de un beneficio puede ser la pérdida de este en otro sitio cercano al proyecto (Laird & Venables, 2017).

Las evaluaciones de las inversiones en proyectos de transporte gravitan en los costes y beneficios directos que se producen solamente en el mercado del transporte, cumpliéndose bajo ciertos supuestos que muchas veces distan de lo realista, siendo necesaria la adaptación del ACB para incorporar estos efectos dentro del sector de transporte (Calthrop et al., 2010). Sin embargo, el ACB convencional se basa en los excedentes del usuario en los mercados de transporte capturando los beneficios de las inversiones, siempre que no haya imperfecciones en los mercados secundarios, los cuales son más tomadas en consideración, dado a que pueden tener impactos relevantes en la evaluación económica de las inversiones en proyectos de transporte (Eliasson & Fosgerau, 2019).

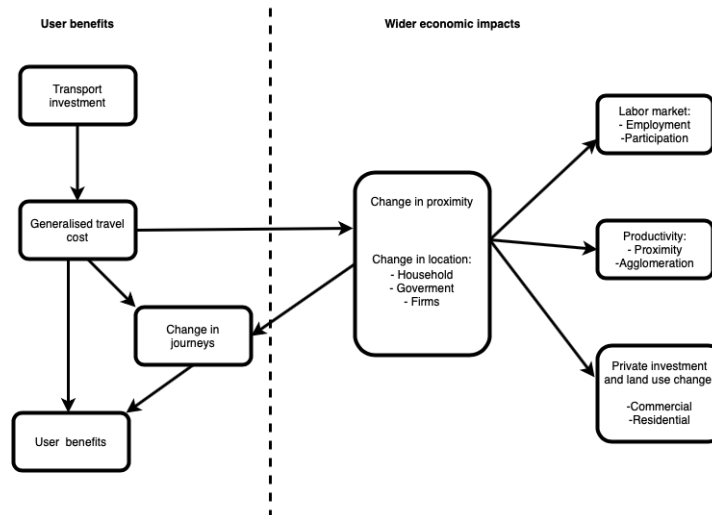


Figura 4. Impactos más amplios. Referencia: Adaptado de Laird & Venables (2017).

En la figura 4 se ilustran los beneficios a los usuarios (directos) y los WEI, que surgen por la inversión en transporte en la geografía económica. Siendo una cadena, la mejora del transporte aumenta la proximidad, acercando a los agentes económicos y reubicando la actividad económica a medida que las empresas y hogares responden a las oportunidades creadas. Existen tres mecanismos para la creación de los WEI: El primero la proximidad y la deslocalización determinando la densidad efectiva de la actividad económica y productividad. El segundo, la mejora del transporte, hará que los lugares beneficiados sean destinos más atractivos para la inversión. El tercero, puede haber impactos en el mercado laboral, tanto del lado de la oferta permitiendo la participación de la población económicamente activa y por parte de la demanda con la creación de nuevos empleos, pero con posibilidad de perder otros (Laird & Venables, 2017).

La aglomeración puede fomentar la urbanización y el crecimiento económico, pudiéndose medir a través de la accesibilidad, siendo esta la disponibilidad espacial de oportunidades teniendo en cuenta los costes de transporte (Eliasson & Fosgerau, 2019). Además, los beneficios de reducción de tiempos

de viaje aumentando el tamaño efectivo de las ciudades, crean una relación positiva entre el tamaño de una ciudad y la productividad (Tveter, 2018).

La evaluación de proyectos de infraestructura de transporte en la mayoría de los países se realiza mediante modelos calculando los beneficios de los proyectos en términos monetarios directos, representando un mercado de transporte y las redes de infraestructura de forma desagregada. El ACB es un método de evaluación estático que no considera la variación de la demanda debido a los efectos del proyecto y considerando que los efectos del proyecto repercuten en toda la economía (Johansen & Hansen, 2016a).

# **4. CAPÍTULO 4: Herramientas de Evaluación de proyectos en infraestructuras de transporte**

## **4.1. Análisis Coste-Beneficio (ACB)**

El ACB es una técnica desarrollada en el campo de la economía, las matemáticas, la estadística y la investigación de operaciones, que busca brindar asesoramiento a los tomadores de decisiones sobre la formulación de políticas públicas (Nilsson et al., 2008).

El ACB fue el primer método formal de evaluación económica que se aplicó a posibles proyectos con el impulso de ubicar inversiones más racionales que representen una mejor relación calidad-precio. El ACB mediante indicadores muestra una descripción comparativa de los posibles costes y beneficios del proyecto, indicando su contribución económica a la sociedad en su conjunto, así como a los inversores del proyecto. Actualmente durante el análisis no solo se considera el flujo de caja, sino también los impactos económicos, ambientales y sociales, tanto positivos (beneficio) como negativos (costes), cuantificados en términos monetarios ajustados por el valor del dinero actual (Dimitriou et al., 2016).

El ACB es el método dominante en la evaluación económica de proyectos desde los 70's (Macharis & Bernardini, 2015). A pesar de su gran difusión, aun no existe un modelo ACB estándar universal, cada organización o país define sus propios requisitos específicos para la evaluación, aunque con criterios similares (Vickerman, 2017).

Las ventajas metodológicas al utilizar el ACB, se basan en la mejora de la evaluación al realizarse bajo los mismos escenarios e impactos. Los tomadores de decisiones tienen información más completa para juzgar los proyectos según sus efectos, sin embargo, se debe tomar en consideración que la información puede estar incompleta o ser de mala calidad, lo que puede ocasionar que la decisión tomada no sea la mejor. El ACB puede ser una buena plataforma de discusión para quienes participan en la investigación económica, diseño y planificación de infraestructura, mejorando la calidad de la información para la toma de decisiones, ayudando a dar soporte a las decisiones finales. Entre los puntos negativos del ACB, destacan la poca transparencia en los informes finales hacia la sociedad, y su dificultad para valorar los impactos ambientales sin valor de mercado. A pesar de que pueda parecer pocos puntos negativos, el área de trabajo es controversial y de gran impacto económico (Annema et al., 2007).

El ACB es una de las principales herramientas para la evaluación de proyectos, la Unión Europea (UE) promueve su uso entre sus miembros. Dentro del marco europeo existen diversas guías para su aplicación empezando con el *Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects* (European Commission, 2014) o bien guías basadas en el ACB como el *Sistema d'Avaluació d'Inversions en Transport* (SAIT, 2015).

Al realizarse el ACB antes de la toma de decisión para la selección del proyecto, se calcula el beneficio neto de la alternativa de proyecto evaluada, para esta manera tomar la decisión de asignar o negar los recursos a ese proyecto (Boardman et al., 2018). La *Guide to Cost-benefit Analysis of*

*Investment Projects* (European Commission, 2014) menciona los pasos para realizar el ACB:

- Descripción del contexto
- Definición de objetivos
- Identificación del proyecto
- Viabilidad técnica y sostenibilidad ambiental
- Análisis financiero
- Análisis económico
- Evaluación de riesgos.

En el proceso de análisis financiero se calcula el valor presente de una cantidad futura, siendo el valor presente de dicha cantidad menor a su valor futuro. El Valor Presente Neto (VPN)(1) de la inversión se define como el total que resulta cuando la inversión esperada y los costes operativos del proyecto, descontados, se deducen del valor descontado de los ingresos esperados (European Commission, 2014):

$$VPN = \sum_0^n \frac{S_n}{(1+i)^n} \quad (1)$$

$S_n$ : Balance del flujo de efectivo en el tiempo n

i: tasa interna de retorno

Durante el proceso de análisis económico se obtiene el indicador beneficio-coste (B/C) como la proporción entre los costes y beneficios económicos descontados. Cuando la relación es mayor que la unidad, los beneficios superan a los costes, concluyendo que el proyecto analizado es viable económicamente.

El ACB se basa en el utilitarismo, la realización de un acto se decide cuando este maximiza el bienestar neto de los individuos. El ACB compara las

opciones de proyecto desde la disposición a pagar de los consumidores, lo cual puede ser problemático cuando se tienen usuarios que por situaciones económicas tienen una disposición a pagar muy baja. La sociedad tiene el deber moral de proporcionar cierto nivel de acceso a los destinos de actividad a la mayoría de sus miembros. La ley cristiana de "amar al prójimo como a ti mismo", implicaría que sería inmoral realizar una actividad en la que beneficias a unos miembros de la sociedad mientras afectas a otros. Estas ideas se vinculan con el óptimo de Pareto el cual se alcanza si nadie puede aumentar su bienestar a menos que el bienestar de otra persona disminuya, siendo casi imposible realizar una actividad en el sistema de transporte sin tener personas afectadas (van Wee, 2012).

El ACB también utiliza el criterio de Kaldor-Hicks, para adoptar proyectos que tengan beneficios netos positivos, de esta manera, es posible que las personas afectadas sean compensadas por las personas que obtienen beneficios sin llegar a perderlos por completo (Boardman et al., 2018). Para verificar que un proyecto cumple el criterio de Kaldor-Hick, se listan los efectos cuantificables, directos o indirectos, de un proyecto y se monetizan en forma de costes y beneficios durante un período de tiempo determinado. Estos efectos monetizados y los costes de la inversión asociados al proyecto se descuentan en su VPN, obteniendo de esta manera su relación coste-beneficio (Boadway, 2006).

La gran motivación al realizar inversiones en las infraestructuras de transporte es que éstas actúen como catalizador del crecimiento económico, por tal motivo, los argumentos para realizarlas se relacionan con el alcance de su impacto en el desempeño económico. Estos impactos se les conoce como "impactos económicos amplios" y su evaluación no es la clásica evaluación del ACB, centrada en los beneficios del usuario creados por un proyecto, creando una disyuntiva entre los argumentos estratégicos de un proyecto y el análisis económico asociado y el ACB. Esto motiva que en la toma de decisiones en inversiones de infraestructura los resultados de las evaluaciones ACB



realizadas son tomadas por partes o no tienen ningún impacto significativo al seleccionar un proyecto. Por lo tanto, es el desafío incorporar estos "impactos económicos amplios" sin que los efectos puedan exagerarse (Laird & Venables, 2017).

Se pueden identificar al menos tres razones por la cual el ACB suele perder su impacto en la toma de decisiones: en primer lugar, podría ser que se estudiara un número insuficiente de alternativas, identificando solamente una solución al problema; en segundo lugar, se ha identificado en cierta medida la aceptación pública; y tercero, el ACB llega tarde en el proceso de toma de decisiones (Johansson et al., 2019).

El utilizar ACB proviene del hecho de que no siempre es políticamente racional buscar el bien común, cualquier inversión requiere recursos de un grupo (contribuyentes) y beneficiando a otro grupo pequeño (usuarios). El ACB ayuda a comparar muchas inversiones entre sí con una restricción presupuestaria fija y es una forma de representar a los contribuyentes en la mesa de toma de decisiones, legitimando las decisiones (Mackie et al., 2014).

Un ACB ex ante evalúa la diferencia de los beneficios y costes de un proyecto entre una situación de "no hacer nada" o "hacer lo mínimo" en términos monetarios. Para los proyectos en infraestructura de transporte, generalmente los beneficios y costes monetarios incluyen ahorros en el tiempo de viaje, reducciones en los costes de accidentes, costes operativos de los vehículos, impactos ambientales, los costes de inversión y mantenimiento. Aunque ha habido críticas sobre el uso de ACB como herramienta apropiada para la toma de decisiones debido a que algunos impactos clave no se valoran en términos monetarios (Odeck & Kjerkreit, 2019).

Un ACB ex post proporciona el valor de una intervención en particular o similares, siendo útil para las organizaciones gubernamentales para monitorear la eficiencia como forma de estudio. Al comenzar un proyecto,

existe una gran incertidumbre sobre los beneficios reales, conforme pasa el tiempo, la incertidumbre disminuye y emerge el verdadero valor del proyecto. En consecuencia, los estudios ex post son generalmente más precisos que los ex ante y más útiles como herramienta de evaluación. La desventaja de los estudios ACB ex post con fines de evaluación es que, por definición, no se pueden realizar hasta que se hayan producido todos los beneficios, lo que supone una larga espera y tal vez la cancelación de la evaluación. La tabla 5 muestra el aporte de la evaluación ex ante y ex post de un ACB (Boardman et al., 1994).

**Tipo de ACB**

<i>Tipo de decisión</i>	Ex-Ante	Ex-Post
<i>Ayudar a decidir la asignación de recursos para este proyecto</i>	Sí, ayuda a seleccionar la mejor alternativa de proyecto	Demasiado tarde, el proyecto ha terminado
<i>Ayuda a conocer el valor real de un proyecto concreto</i>	Escasa estimación, alta incertidumbre sobre los beneficios y costes futuros	Excelente, aunque pueden quedar algunos errores, puede ser tarde para realizar el estudio
<i>Ayuda a conocer el valor real de un proyecto similar</i>	No aporta mucho	Muy útil, aunque puede presentar errores, se puede esperar mucho tiempo para realizar el proyecto
<i>Ayuda a conocer los errores en ACB</i>	No	No

Tabla 5. Contribución de las evaluaciones ex ante y ex post. Referencia: Adaptado de Boardman et al. (1994).

Una de las fortalezas del ACB debido a su amplio uso es que la metodología es, en gran medida, formalizada y transparente, garantizando que los proyectos se juzguen con el mismo conjunto de reglas y que los análisis sean comparables (Vigren & Ljungberg, 2018a). El ACB asegura que los beneficios agregados netos sociales superen los costes agregados netos y permite una cierta transparencia que ayuda a justificar decisiones políticas y posibilita la comparación de diferentes diseños en una escala común (Nickel et al., 2009). El uso del ACB puede ser compaginado con otras herramientas de evaluación

como el análisis multicriterio (MCA) para asignar una puntuación a los proyectos a comparar (Chi & Bunker, 2020).

El ACB es utilizado ampliamente, pero es cuestionada como una herramienta adecuada para evaluar proyectos de transporte, debido a sus dificultades para traducir a términos monetarios algunas variables relacionadas con el proyecto, esto dificulta su análisis o conlleva que directamente no sean tomadas en consideración. Tampoco suele mencionarse que tan confiables son los valores utilizados, de donde provienen, si el proyecto es controversial o bien recibido por la sociedad. Suele faltar información de la distribución de los efectos del proyecto en cuanto a quien beneficia o no, ignorando problemas de equidad y enfocando en la reducción de la congestión mediante la nueva infraestructura reduciendo el tiempo de viaje y alejándose de la visión del desarrollo económico espacial. Evaluar varias propuestas a la vez puede ser bastante complejo, para el evaluarlas y priorizarlas se debe tomar en consideración los objetivos a largo plazo, siendo un desafío al existir diversas cantidades de inversión y alcance, además de las políticas gubernamentales de su momento (Beukers et al., 2012; Chi & Bunker, 2020; Mackie et al., 2014; Odeck & Kjerkreit, 2019).

## **4.2. Análisis Multicriterio**

El Análisis Multicriterio (MCA) es una sub-disciplina de investigación operativa en la que se consideran múltiples criterios, los cuales pueden ser cuantitativos o cualitativos, para la toma de decisiones entre varias soluciones (Yannis et al., 2020). La finalidad de los métodos MCA es orientar al tomador de decisiones en la elección más recomendable de entre varias posibles. Se pueden dividir en continuos, como el multicriterio mediante programación lineal y discretos, resolviéndose mediante métodos basados en la utilidad o función de valor y métodos de clasificación (Wątróbski et al., 2019).

Según la situación los MCA podrían: Disponer de las preferencias del tomador de decisiones, No disponer de las preferencias del tomador de decisiones o Disponer de información parcial de las preferencias del tomador de decisiones (Villegas Flores et al., 2021). Usualmente el proceso de los MCA tiene las siguientes cuatro fases: Primera, la definición del problema proporcionada por los tomadores de decisiones. La segunda corresponde a la identificación de criterios de evaluación y comparación de las alternativas. La tercera, la asignación de coeficientes de ponderación a los criterios. Finalmente, la evaluación mediante el uso de un método para clasificar las alternativas (Bueno Cadena & Vassallo Magro, 2015) . En la figura 5, se muestra los pasos de las diferentes fases del proceso de MCA.

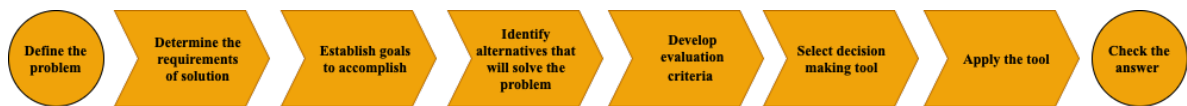


Figura 5. Proceso general de la toma de decisiones. Referencia: Adaptado de Krupa et al. (2001).

La motivación para el desarrollo del MCA es la resolución de problemas complejos que no se puede realizar sobre la base de enfoques unidimensionales (Doupoms & Zopounidis, 2002). Vincke menciona que el MCA ofrece un estudio integral de un problema de decisión combinando las dimensiones económica, social, ambiental y técnica que se acerca a la solución real (Castro-Nuño & Arévalo-Quijada, 2018).

El MCA constituye tanto el marco para estructurar los problemas de toma de decisiones, como el conjunto de métodos utilizados, los cuales son cada vez más utilizados en el área de transporte para generar preferencias entre las diferentes alternativas a valorar. El MCA conduce a decisiones mejor justificadas, explicables y transparentes, ya que permite abordar de manera simultánea y transparente los puntos de vista a menudo conflictivos, contradictorios e inciertos de la toma de decisiones. El uso del MCA ayuda a organizar, gestionar y simplificar la gran cantidad de información técnica y de

datos. La limitación es que las soluciones generadas son compensaciones entre los múltiples objetivos y no los óptimos. La ponderación y variedad de los diferentes datos a menudo se mencionan como otras limitaciones del MCA debido a la subjetividad del experto (Awasthi et al., 2018; Macharis & Bernardini, 2015; Yannis et al., 2020). En la tabla 6 se muestra una recopilación de algunos métodos MCA con sus ventajas y desventajas.

<i>Método</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<i>Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)</i>	Considera la incertidumbre; puede incorporar preferencias.	Necesita mucha información de entrada; las preferencias deben ser preciso.
<i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	Fácil de usar, no requiere muchos datos, se puede adaptar fácilmente a problemas de muchos tamaños	Problemas por interdependencia entre criterios y alternativas; incoherencias entre los criterios de valoración y de clasificación.
<i>Case-Based Reasoning (CBR)</i>	No requiere muchos datos; requiere de poco mantenimiento; mejora con el tiempo	Es sensible a inconsistencia en datos
<i>Data Envelopment Analysis (DEA)</i>	Capaz de evaluar múltiples entradas y salidas; la eficiencia se puede analizar y cuantificar.	No es capaz de manejar datos imprecisos; asume que todas las entradas y salidas se conocen.
<i>Fuzzy Set Theory</i>	Permite datos de entrada imprecisas; considera la información insuficiente.	Difícil de desarrollar; requiere de numerosas pruebas antes de su uso.
<i>Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART)</i>	Sencillo; permite el uso de cualquier tipo de técnica para asignar los pesos; menos esfuerzo para los tomadores de decisiones.	El procedimiento puede no ser conveniente considerando la metodología.
<i>Goal Programming (GP)</i>	Maneja problemas a gran escala; infinitas alternativas.	Capacidad de ponderar coeficientes; combinación con otros métodos MCA para ponderar los coeficientes.
<i>ELECTRE</i>	Considera la incertidumbre y lo indeterminado.	Proceso y resultado complejos; problemas para comparar

		alternativas cuando alguna sobresale
<i>PROMETHEE</i>	Sencillo de usar; no requiere suponer que los criterios son proporcionados.	No proporciona un método claro para asignar los pesos.
<i>Simple Additive Weighting (SAW)</i>	Capacidad para compensar entre criterios; intuitivo para los tomadores de decisiones; su cálculo es simple.	Las estimaciones no siempre reflejan la situación real; El resultado puede ser ilógico.
<i>Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solutions (TOPSIS)</i>	Proceso sencillo; fácil de usar y programar; a mayor o menor número de atributos los pasos son los mismo.	No considera la correlación de atributos; difícil de ponderar y mantener la coherencia de juicio.

Tabla 6. Métodos MCA. Referencia: Adaptado de Velasquez & Hester (2013).

### 4.3. El ACB y el MCA en conjunto para la toma de decisiones

El ACB y el MCA usualmente se complementan en la evaluación de proyectos. Como se ha mencionado, el ACB tienen limitaciones en el momento de evaluar algunos efectos no monetarios de la inversión planeada, mientras que el MCA incorpora múltiples criterios para evaluar los no monetarios en su proceso para la toma de decisiones (Vigren & Ljungberg, 2018b).

Una metodología híbrida entre el ACB y el MCA puede ser una opción en el momento de evaluar las opciones de políticas de transporte con efectos importantes difíciles de monetizar. Por contra, el MCA recibe críticas debido a la subjetividad de los pesos que se utilizarán, debido a la facilidad de manipularlos, y el ACB no queda exento de posibles manipulaciones (van Wee, 2012).

Está establecido que el ACB y el MCA pueden ser utilizados en conjunto, aportando su propio criterio, pero su implementación ha sido difícil de lograr. Por lo regular el proceso puede realizarse combinándolos, o bien, presentando los resultados por separado. A pesar de que en varios países el

ACB es la herramienta principal para evaluar proyectos, la toma de decisiones se ven influenciada por factores ajenos al proceso o por criterios no monetizados de mayor peso. Al utilizar en conjunto ambas herramientas, considerando todos los factores de decisión, se espera transparentar la toma de decisiones, volviéndolas más eficaces, y estableciendo un vínculo entre los objetivos del proyecto y los resultados de la evaluación (Gühnemann et al., 2012a).

El MCA proporciona un proceso sistematizado para considerar una propuesta de inversión con varios criterios y resultados de varias herramientas de evaluación. Esencialmente, el MCA permite evaluar los atributos monetarios y no monetarios dentro del mismo marco sin dejar a un lado el ACB, teniendo un potencial considerable para su aplicación a proyectos de infraestructura (Chi & Bunker, 2020).

Los beneficios no monetarios ("beneficios económicos amplios) de los proyectos de infraestructura de transporte no se reflejan en los beneficios directos para el usuario que normalmente se lleva a cabo en un ACB después de considerar los costes ambientales y otros costes directos externos. Estos beneficios no siempre son positivos, indicando que los beneficios netos del usuario directo podrían sobreestimar el valor de un proyecto (Vickerman, 2008).

Williamson y O'Brien ofrecen una visión, que se ha actualizado, sobre los mecanismos y procesos subyacentes a los beneficios económicos más amplios de las inversiones en infraestructura de transporte. La figura 6 menciona que existen dos mecanismos, el primero sobre innovación y el segundo de los arreglos espaciales en la economía, creando condiciones que mejoran el desempeño económico y promueven la productividad total de los factores y el crecimiento interno (Lakshmanan, 2008).

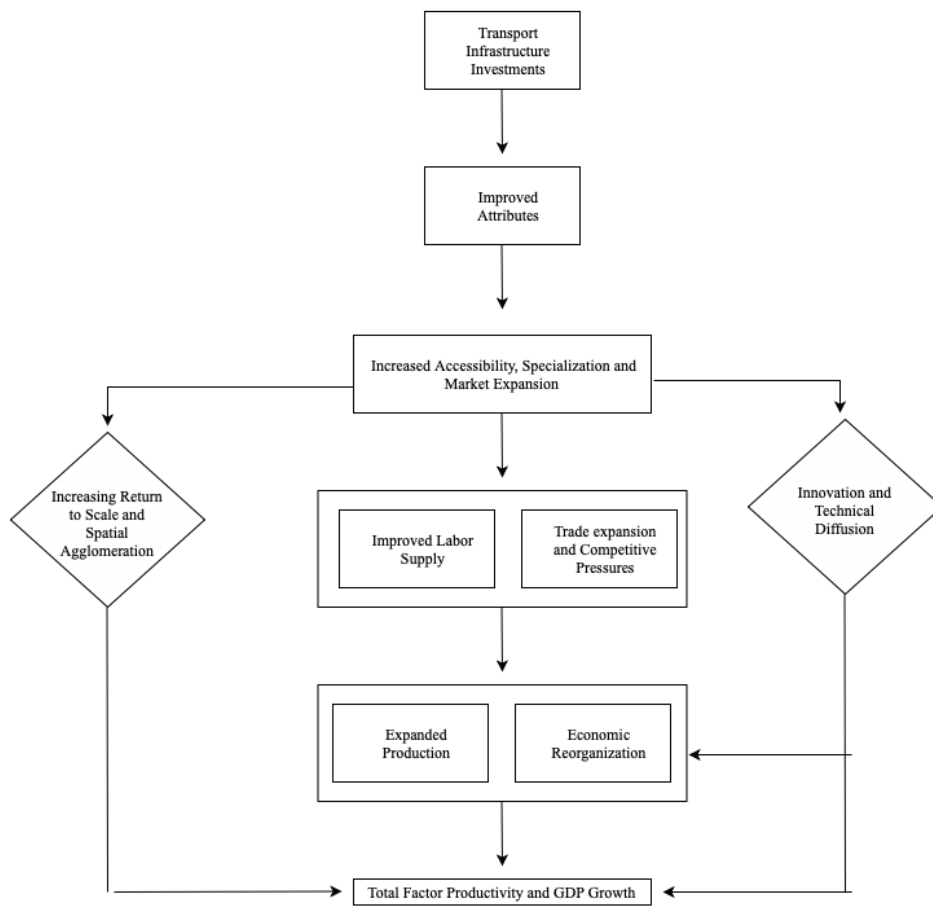


Figura 6. Inversión en infraestructuras de transporte y Efectos económicos amplios. Referencia: Adaptado de Lakshmanan (2008)



## **5. CAPÍTULO 5: Revisión sistemática de la literatura científica de los impactos considerados en el ACB**

La revisión sistemática es utilizada en muchas disciplinas con la intención de obtener información científica que facilite el proceso de toma de decisiones, mediante un procedimiento estandarizado en el cual se intenta reducir la subjetividad al realizar una búsqueda de literatura (Zamagni et al., 2012). En el área del transporte se han realizado trabajos con esta metodología en el área de la logística: Kellermann et al. (2020), Centobelli et al. (2017), Aloui et al. (2021), Demir et al. (2015) y Gunasekaran et al. (2017), los impactos económicos relacionados con el uso de la bicicleta: Scheepers et al. (2014), Cavill et al. (2008) y Fraser & Lock (2011), el uso compartido de vehículos: Illgen & Höck (2019), modelos de consumo de combustible para eco-ruta y eco-manejo: Zhou et al. (2016), Wimbadi et al. (2021) y Abduljabbar et al. (2021), el uso del big data: Neilson et al. (2019), comportamiento: Tosi et al. (2021), planificación: Elbert et al. (2020).

Para la realización de esta revisión sistemática, se revisaron diversos tipos de metodologías para reseña de literatura como las propuestas por Pullin & Stewart (2006), Moher et al. (2009), Templier & Paré (2015) y de la Transportation Research Board of the National Academies (2015). Para este documento se utilizará la propuesta por Templier & Paré (2015), buscando realizar una reseña narrativa con la finalidad de reunir la literatura publicada

para presentar un informe del estado actual de los conocimientos en el área investigada. Mediante una búsqueda de literatura basada en una pregunta que identifica los estudios relacionados con ella, valorando su contenido y excluyendo/incluyendo documentos mediante una metodología definida, resultando en una muestra de la literatura actual.

## **5.1. Procedimiento**

En el procedimiento general para la realización de revisión de literatura, se debe seguir una serie de pasos: 1) Definir la formulación del problema que describa el alcance de la revisión y definición de los criterios para la inclusión y exclusión de documentos; 2) Definir en que fuentes de información se realizará la búsqueda de la literatura; 3) Evaluación y selección de documentos mediante los criterios de inclusión y exclusión; 4) extracción de información de los documentos ; 5) análisis y síntesis de los datos.

En la búsqueda de literatura es importante conocer el funcionamiento de las bases de datos que se utilizarán para definir los elementos en la cadena de búsqueda teniendo en cuenta las versiones singulares y/o plurales, así como sus acrónimos. Lo que convierte a la búsqueda de literatura en un proceso iterativo en el que inicialmente se realiza una búsqueda y se evalúa si se han incluido los términos adecuados, así como la combinación de palabras clave en conjunto con los operadores buscando un balance entre lo riguroso de la búsqueda y su amplitud en la captación de documentos que puedan ser relevantes.

La búsqueda e identificación de documentos relacionadas con el ACB y los WEI en el ámbito del transporte, se realizaron en las bases de datos multidisciplinarias Scopus de Elsevier y Web of Science (WoS). Las palabras clave utilizadas son variantes del Cost-Benefit Analysis, Transport Appraisal y Wider Economic Impacts utilizando los operadores de búsqueda "AND" y "OR", además utilizando los códigos de campo para limitar fecha, área de

estudio e idioma, realizando la búsqueda en las partes del documento correspondiente a las palabras clave, título y resumen. La figura 7 muestra la estructura de la cadena de búsqueda construido para la búsqueda en las bases de datos.

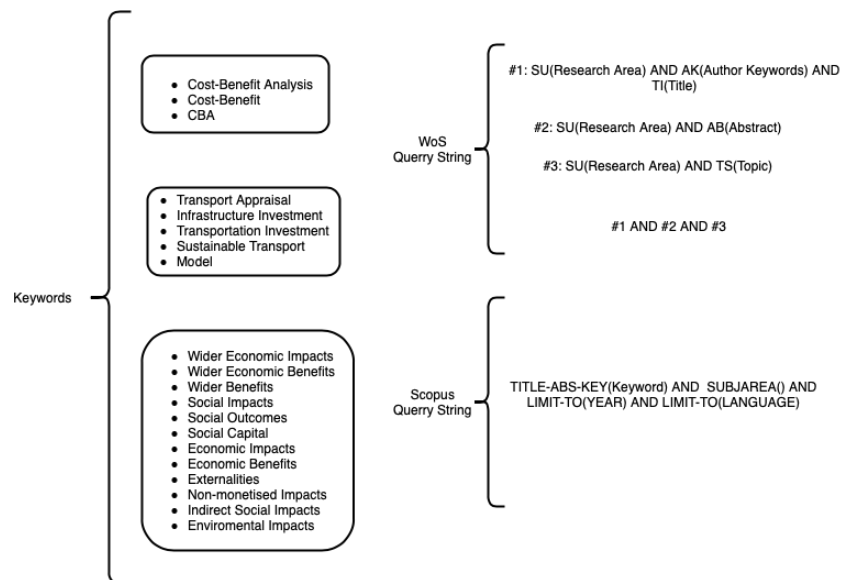


Figura 7. Palabras clave y cadena de búsqueda. Referencia: Elaboración propia.

Una vez obtenidos los resultados se deben tener criterios para la selección de documentos y no desperdiciar recursos en documentos irrelevantes al objetivo de este documento. Los criterios de inclusión y exclusión de los documentos son:

- Solamente se considerarán trabajos en inglés.
- Estudios publicados entre el 1 de enero de 1970 y 1 de junio de 2021.
- Debe ser un estudio principal, no pueden ser comentarios o revisión de literatura.
- Ser un documento de acceso publico en revistas revisadas por pares o congresos.
- Se considerará duplicado si el documento pertenece a un trabajo de la misma serie.

- Debe de ser un estudio con metodologías para la internalización de los impactos económicos amplios y los impactos de no directa monetización en el ACB para proyectos de infraestructura de transporte, no se considerarán los estudios que mencionen solamente la motivación para ser incluidos.

Las bases de datos multidisciplinarias tienen la opción de descargar el resultado de la búsqueda en formato CSV, lo cual facilita su procesamiento con ayuda del lenguaje de programación Python. El archivo CSV se convierte en una estructura de datos con dos dimensiones, dataframe, siendo cada fila un artículo distinto con su información en columnas, de esta manera se podrá procesar la información, realizando:

- La unión de los diferentes dataframes
- Seleccionando las columnas que son de interés: Authors, Article Title, Abstract, DOI, Publication Year.
- Al tener dos bases de datos diferentes se puede realizar una búsqueda de duplicados, eliminándolos y contabilizándolos por lo que es importante realizar la operación ignorando las mayúsculas.
- Se realizará una búsqueda en cadena para filtrar los documentos mediante las palabras clave dentro del título y resúmenes.
- Exportar el dataframe a un archivo de texto.
- Realizar una lectura de los resúmenes seleccionando los documentos para su lectura completa.
- Realizar la lectura de los documentos completos para realizar la selección final.

El proceso de selección se realizó en cuatro etapas. En la primera se realizó la detección de duplicados debido a la búsqueda en dos bases de datos, el total de documentos de 28.363 documentos, y reduciéndose a 26.142 tras encontrarse 2.221 duplicados.

En la segunda etapa, se comprueba que los títulos y resúmenes contienen los términos de búsqueda debido a que existe la posibilidad de que aparezcan solamente como palabras clave del documento, por la posible existencia de una relación indirecta con el tema del documento, pero sin que se aborde en él. Después de la evaluación quedan 283 documentos siendo eliminados 25.859 documentos que no cumplían con este criterio.

En la tercera etapa, se leyeron los resúmenes de los documentos restantes excluyendo los documentos donde simplemente se abordaban las WEI o los impactos de no directa monetización en el ACB como una revisión de literatura o no se presentaba una metodología para considerarlas en esta. Además, se realizó una segunda revisión de duplicado debido a la posibilidad que un documento haya sido presentado en una conferencia por los mismos autores y posteriormente publicado en una revista, por lo que se considerará duplicado.

En la cuarta etapa se leyeron los textos completos para comprobar que los temas se encuentran incluidos, quedando un total de 31 artículos. La figura 8 presenta los resultados del proceso de selección de la literatura.

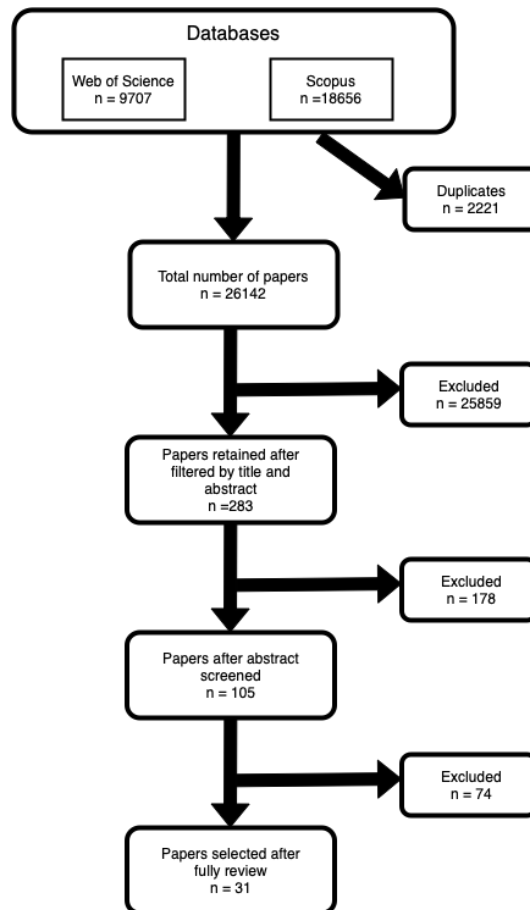


Figura 8. Proceso de revisión literaria. Referencia: Elaboración propia.

## 5.2. Resultados

### 5.2.1. Periodo de tiempo

Se ha realizado la búsqueda desde el 1970 hasta mediados del 2021 con resultados (brutos) casi nulos en las décadas de los 70 y 80, comenzando a tener una mayor relevancia desde los 90 hasta la fecha. Los resultados que se presentan en este estudio comienzan en el 2000, publicándose una cantidad importante de los documentos entre los años 2008-2019, siendo el año más relevante el 2016 con 4 documentos (ver figura 9).

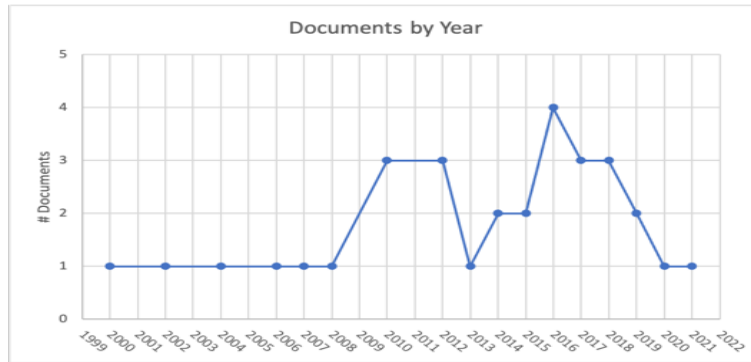


Figura 9. Documentos por año. Referencia: Elaboración propia.

Las publicaciones por tipo de categoría muestran que los impactos de no directa monetización tienen un aumento en publicaciones entre los años 2012-2018, el año 2012 tiene el mayor número de publicaciones (ver figura 10).

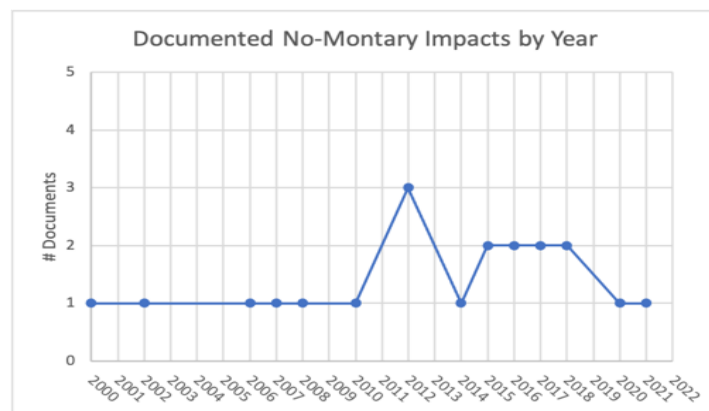


Figura 10. Documentos relacionados con Impactos de no directa monetización. Referencia: Elaboración propia.

La figura 11 muestra el total por impacto estudiado en las publicaciones, los impactos más estudiados son calidad de aire, cambio climático, ruido y accidentabilidad.

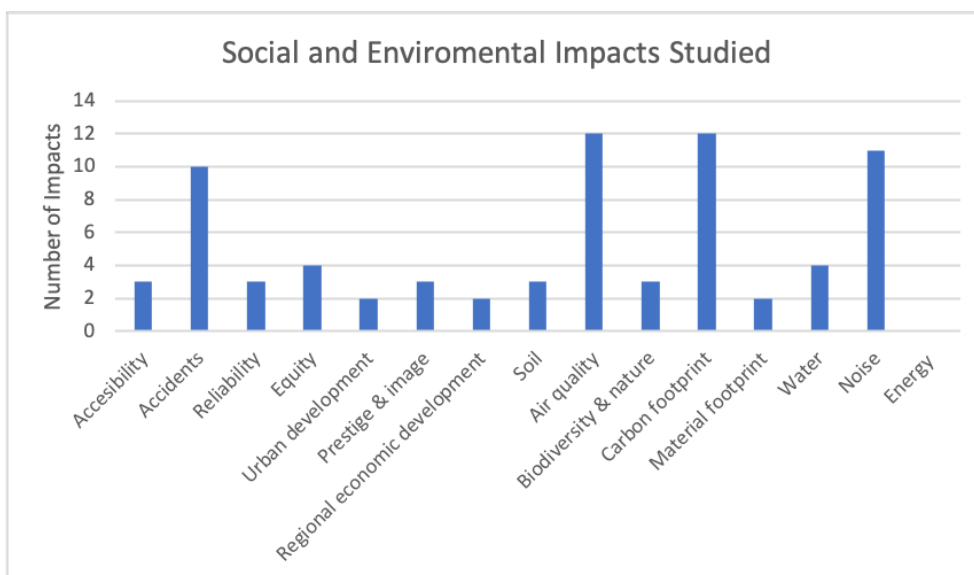


Figura 11. Impactos sociales o ambientales investigados. Referencia: Elaboración propia.

Los documentos acerca de las WEI comienzan a publicarse desde el 2004 teniendo una mayor distribución de estudios de las WEI entre los años 2010-2019, ver figura 14.

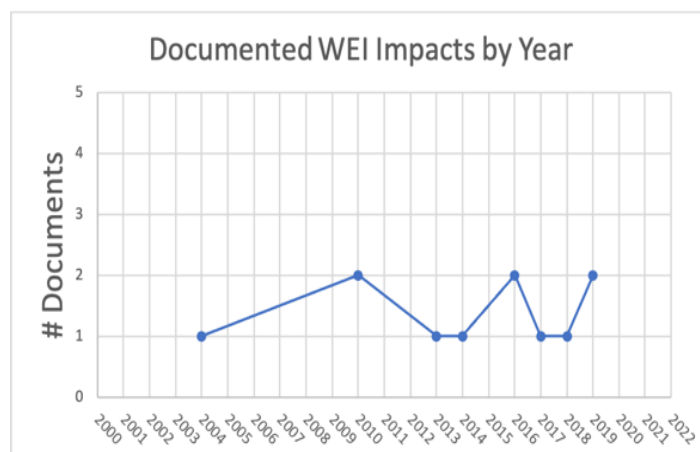


Figura 12. Documentos relacionados con Impactos económicos amplios. Referencia: Elaboración propia.



La figura 13, muestra el total por WEI estudiado por impacto, siendo la proximidad, cambio de uso de suelo comercial y residencial, los más estudiados.

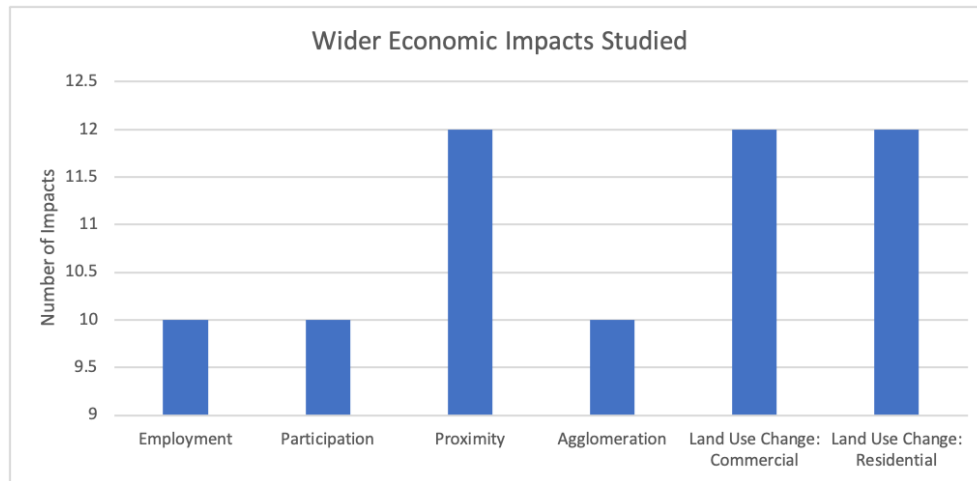


Figura 13. Documentos relacionados con Impactos económicos amplios. Referencia: Elaboración propia.

### 5.2.2. Distribución de autores por países

La distribución de los autores fue tomada por el país base según la dirección postal de su centro de investigación o universidad a la que se encuentran adscritos, de acuerdo con el documento revisado. El resultado fue de 19 países, siendo Australia el país con más autores seguido de UK. Europa es el continente con la mayor cantidad de autores, seguida de Oceanía, (ver figura 14).

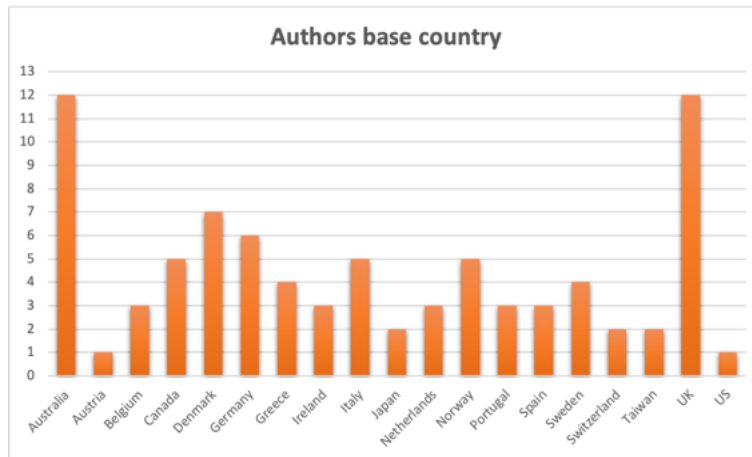


Figura 14. Documentos por país. Referencia: Elaboración propia.

### 5.2.3. Distribución modal

La distribución modal de los documentos se centra principalmente en los impactos generados por proyectos de carreteras (21), seguido del ferrocarril (10), aire (3) y mar (1), reiterando la importancia del transporte terrestre y sobre todo por carretera. Gran parte de los impactos de no directa monetización (9) y WEI (8) estudiados en los documentos, se relacionan con proyectos de carreteras. El ferrocarril es el segundo mayor segmento con 3 impactos de no directa monetización y 5 WEI. Los proyectos por aire (3) y mar (1) tienen solamente documentos estudiando impactos de no directa monetización. La importancia que se le da a los impactos producidos por proyectos de carretera va de la mano con su importancia en la movilidad de personas y mercancías.

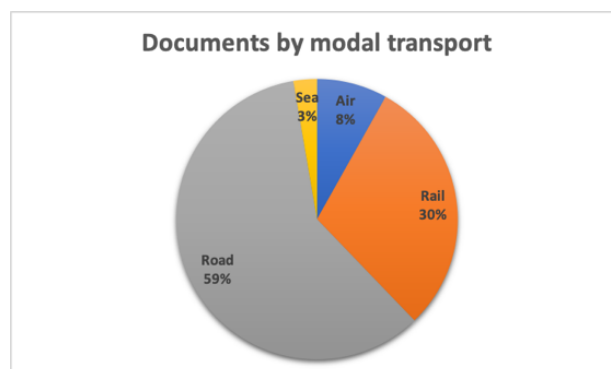


Figura 15. Porcentaje de documentos por modo de transporte. Referencia: Elaboración propia.

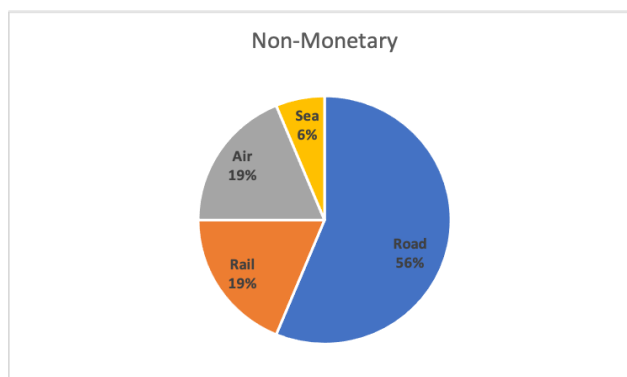


Figura 16. Porcentaje de documentos Impactos de no directa monetización. Referencia: Elaboración propia.

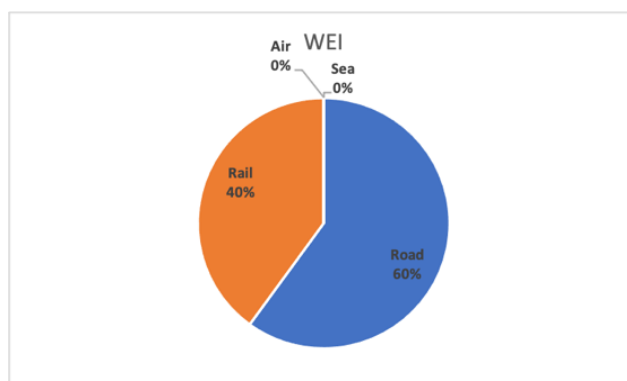


Figura 17. Porcentaje de documentos Impactos económicos amplios. Referencia: Elaboración propia.

#### 5.2.4. Relevancia de impactos

Los impactos de no directa monetización han tenido una mayor integración en el ACB al encontrarse formas para su monetización, incorporándose de esta manera impactos de importancia en la degradación ambiental o salud. Por tal motivo, como se muestra en la figura 18, el ruido, calidad del aire, accidentes y huella de carbono (cambio climático) han tenido una mayor inclusión en el ACB, los cuales tienen metodologías aceptadas y ampliamente utilizadas para su monetización. Por otra parte, los impactos más difíciles de cuantificar tienen una menor aparición en los documentos seleccionados.

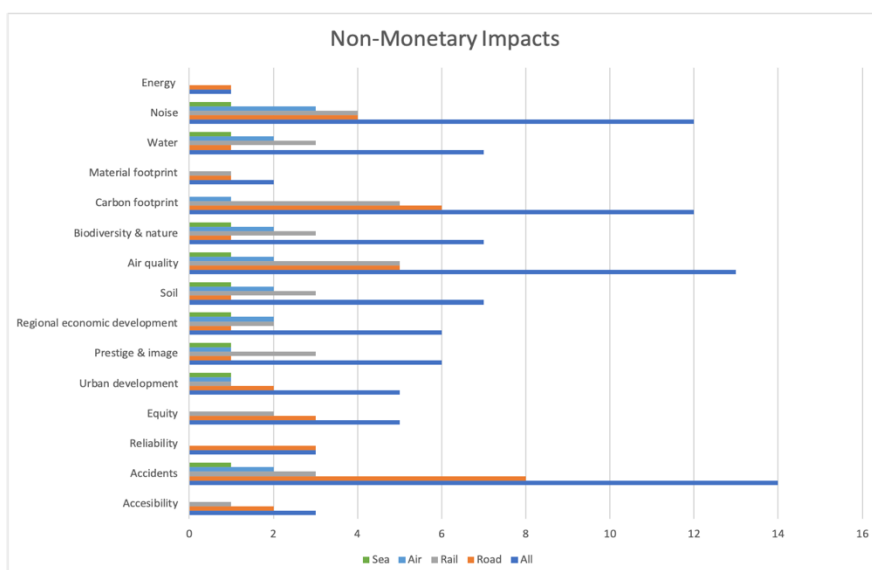


Figura 18. Relevancia de impactos de no directa monetización. Referencia: Elaboración propia.

En la figura 19 los impactos económicos más amplios han sido objeto de estudio debido a la importancia de sus efectos. El cambio de uso de suelo es el más estudiado debido a la intención de conocer los efectos de nuevos proyectos de infraestructura en el territorio. Los efectos en el mercado laboral, por la creación de nuevos enlaces o mejoras hacia ciudades más productivas habilitan la creación de puestos de trabajo y una mayor oportunidad para los trabajadores al acceder a mejores empleos. La productividad es un poco más complicada de estudiar al haber la tendencia de las personas a vivir en centros urbanos más densos debido a la proximidad de los servicios ofrecidos, llegándose a solapar con los efectos reales de la aglomeración producida por el proyecto de infraestructura.

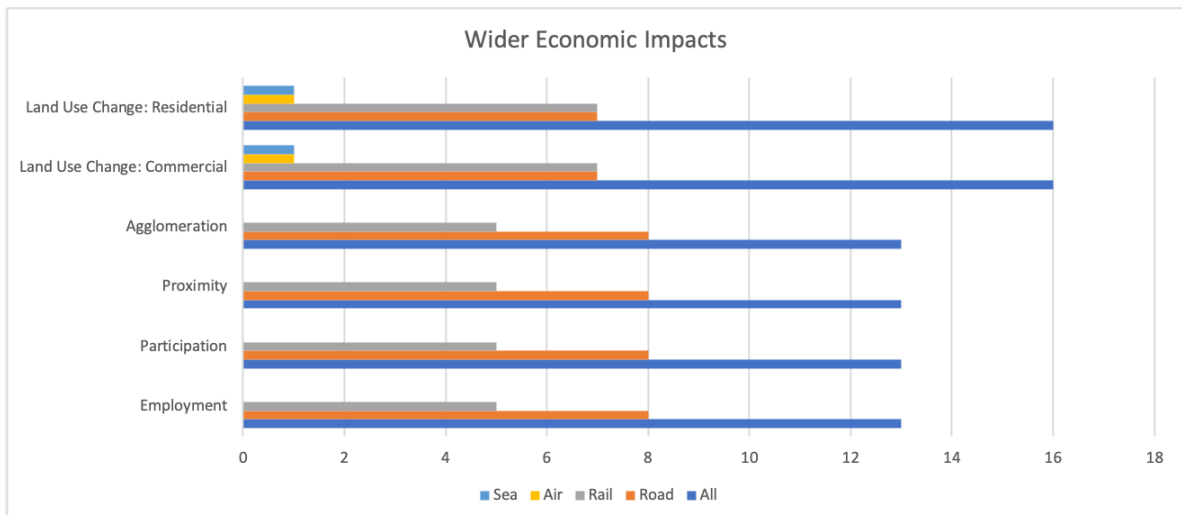


Figura 19. Relevancia de impactos económicos amplios. Referencia: Elaboración propia.

### 5.3. Revisión de la literatura

#### 5.3.1. Los impactos de no directa monetización en la literatura científica

##### 5.3.1.1. Vulnerabilidad

La importancia de las infraestructuras de transporte es grande, es común que existan momentos en las que estas infraestructuras fallan y muestran la vulnerabilidad del sistema interrumpiendo la movilidad de personas y mercancías. Masiero & Maggi (2012) identifican y cuantifican la vulnerabilidad de una infraestructura de transporte por carretera, para de esta manera tomar las medidas pertinentes para reducir el impacto económico y social mediante un ACB de las medidas de protección en toda la infraestructura de transporte.

Un factor importante de las infraestructuras es su fiabilidad, esto se puede conocer mediante un índice de importancia y de esta manera mejorar la fiabilidad del sistema. Fang & Wakabayashi (2012) resaltan la importancia de considerar tres posibles casos para la vulnerabilidad en el ACB. El primer caso plantea que el coste de la mejora de un enlace fiable es mayor a la mejora de

un enlace menos fiable y el coste de mejorar en el mismo grado depende de la fiabilidad del enlace. En el segundo caso, el aumento al mismo grado de fiabilidad es acumulativo y varía según una función cuadrática de la fiabilidad del enlace. En el tercer caso, el coste de aumentar la fiabilidad es proporcional al propio aumento de la fiabilidad.

Un elemento importante que vulnera a las infraestructuras son las condiciones meteorológicas adversas, que no siempre son disruptivas como mencionan Bardal & Mathisen (2015) por lo que es importante considerar en el ACB el impacto de los indicadores meteorológicos adversos en el flujo del tráfico.

#### 5.3.1.2. *Ruido*

El ruido es un impacto que tiene repercusiones en la salud física y mental, además, de tener más costes sociales. Nunes & Travisi (2007) estudian la monetización de diferentes alternativas para la reducción del ruido provocado por las infraestructuras ferroviarias, realizando un análisis econométrico con un modelo de utilidad aleatoria, para predecir el comportamiento de las personas que contestaran un cuestionario sobre la reducción del ruido y poder expresar en términos monetarios los impactos de bienestar. Lu & Morrell (2006) desarrollan una metodología en la que se evalúan los costes sociales producidos por el ruido producido por las terminales aeroportuarias. Utilizan el método hedónico de precios (HPM) para estimar el coste social anual del ruido y para las emisiones se considera el tipo de motor de la aeronave y los movimientos que realiza, aplicando el coste social unitario de cada contaminante obteniendo su coste anual al sumar las emisiones producidas durante un año.

#### 5.3.1.3. *Desarrollo Económico*

El desarrollo económico producto de las nuevas infraestructuras es un impacto que es bastante estudiado y que va relacionado con las decisiones políticas.

Vreeker et al. (2002) consideran las posibles contradicciones políticas en torno al proyecto y las preferencias de los tomadores de decisiones, empleando tres metodologías de análisis multicriterio, análisis de régimen, modelo de bandera y el proceso analítico jerárquico (AHP). Tsamboulas & Mikroudis (2000) presentan la metodología Marco de Evaluación de los Impactos y Costes Ambientales del Transporte (EFFECT) teniendo una gran holgura en su aplicación con políticas, planes y proyectos de evaluación de proyectos de transporte a nivel local o regional/nacional, combinando el ACB y el análisis multicriterio (MCA). Vagdatli & Petroutsatou (2021) presentan una evaluación de las propuestas de inversión en proyectos de infraestructuras no rentables cumpliendo los requerimientos para obtener cofinanciamiento europeo. Se realiza la cuantificación de los beneficios sociales del proyecto de inversión de transporte sin rentabilidad, obteniendo los indicadores VAN y TIR con simulación Montecarlo para abordar la incertidumbre que conlleva este tipo de proyectos. Nguyen et al. (2017) realizan una metodología híbrida del ACB en la que se utiliza el Modelo Basado en Agentes (ABM) para simular el comportamiento de agentes autónomos individuales o colectivos, y así poder evaluar los efectos de estas en el sistema en su conjunto que directa o indirectamente toma parte en la toma de decisiones de un proyecto de transporte.

#### 5.3.1.4. *Uso de suelo*

Emberger et al. (2008) proponen una función objetivo que consta de un término de eficiencia económica, un término de coste del CO<sub>2</sub> y otro para los valores monetizados para la contaminación local y los accidentes, calculando en un escenario de hacer algo y no hacer nada. También se utiliza un modelo de interacción de uso del suelo y transporte, MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator), que considera que el uso de suelo de una forma dinámica, en la que influyen las infraestructuras de transporte, y en el que se pueden obtener los costes de accidentes que dependen del flujo y velocidad del tráfico. Ho et al. (2017) proponen el marco MetroScan en el que se

modeliza la interacción del transporte con el uso de suelo, realizando un análisis económico y ACB. Se integran los comportamientos de los pasajeros, el movimiento de mercancías, y la elección del lugar de trabajo en un modelo logit multi-nominal (anidado) con sumas logarítmicas que encapsulan la accesibilidad de los viajes y el nivel de importancia debido a las nuevas oportunidades que pueden ofrecer. Ustaoglu et al. (2016b) concluyen que los beneficios de las infraestructuras dependen de la integración de la planificación del transporte, el uso del suelo y la aplicación de las políticas de compactación urbana.

#### 5.3.1.5. *Accesibilidad*

La accesibilidad de los medios de transporte no es un beneficio exclusivo de sus usuarios, sino que es todo un beneficio para el resto de la sociedad y un gran beneficio económico. El-Geneidy et al. (2016) plantean una medida de accesibilidad que evalúa el uso de suelo por el sistema de transporte (tiempo de viaje y tarifa) con la finalidad de monetizar la accesibilidad. Se utilizan dos métodos, el primero toman el coste del viaje como una combinación de las tarifas de tránsito y el tiempo de viaje basado en un rango de salario por hora y luego calculando el número de puestos de trabajo alcanzables dentro de los rangos. El segundo calcula el tiempo de viaje como una combinación de las tarifas de tránsito basado en el salario por hora y el tiempo de viaje. Gühnemann et al. (2012b) realiza una metodología que combina el ACB y un MCA, desarrollando un sistema de puntuación, basado en el BCR, que transforma los impactos a una escala de preferencia común para, de esta manera, clasificar los proyectos, clasificar los proyectos mediante su accesibilidad.

#### 5.3.1.6. *Energía*

Jensen & Møller (2010) presentan la metodología para valorar el cambio en las variaciones del precio del combustible, basándose en la teoría de la cartera y



en el concepto de prima de riesgo. Logran incorporar la volatilidad de los precios de seguridad del suministro, que ha sido ignorado en el ACB.

#### 5.3.1.7. *Equidad*

Yen et al. (2020) evalúan la equidad horizontal y vertical en relación al impuesto sobre el valor del suelo, la tasa por el uso de la infraestructura, el incremento del coste de vivienda e impuestos en función a la proximidad geográfica de la nueva infraestructura. Para obtener la equidad horizontal realizan un sistema basado en que todos los hogares de la zona beneficiada por la nueva infraestructura pagan la misma cantidad de impuestos. La equidad vertical la obtienen al examinar la capacidad de pago de impuestos de los hogares.

#### 5.3.1.8. *Impactos ambientales durante el ciclo de vida*

La evaluación de los impactos ambientales se realiza a partir de la construcción de la infraestructura dejando a un lado los impactos durante todo el ciclo de vida. Manzo et al. (2018) ofrecen una metodología en la que se combina el ACB y la Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) para considerar los impactos indirectos ambientales de un proyecto de transporte con la intención de evaluar la sostenibilidad a largo plazo de la inversión. H. L. Jones et al. (2018) utilizan el SimaPro LCA software y Ecoinvent database para realizar el LCA, siendo ReCiPe el método de evaluación de impacto seleccionado para integrar la evaluación social, económica y ambiental proporcionando una mejora en la contabilidad del desarrollo sostenible. Siciliano et al. (2016) presentan Solutions and Processes to Enhance the Competitiveness of freight Transport by Rail in Unexploited Markets (SPECTRUM) para proyectos ferroviarios de transporte de mercancías de baja densidad y alto valor, definiendo los costes mediante el LCA y los beneficios se estiman considerando el excedente del usuario, donde se integran, los costes externos generados por las actividades de transporte.

### **5.3.2. Los impactos económicos amplios en la literatura científica**

Rothengatter (2017) menciona que solamente el procedimiento propuesto por el Departamento de Transporte británico permite cambiar los resultados del ACB y los impactos económicos amplios (WEI), al utilizar el enfoque de bienestar para las WEI. Los modelos Spatial Computable General Equilibrium (SCGE) miden el impacto total del bienestar incluyendo los excedentes del consumidor y del productor medidos en el sector del transporte, sin necesidad de utilizar el ACB. Calthrop et al. (2010) integran el ACB en un marco de equilibrio general considerando las distorsiones en todos los mercados producidos por la inversión en un proyecto de transporte, teniendo en cuenta la financiación de la misma.

La mejora o creación de infraestructuras habilita el acceso a un nuevo mercado laboral, ya que las personas pueden desplazarse a una mayor distancia en un menor tiempo, sin olvidar que la elección del lugar de trabajo puede tener relación con los costes de transporte. Börjesson et al. (2014b) utilizando un modelo Land Use -Transport Interaction (LUTI) para la simulación de uso de suelo concluyen que el impacto del uso de suelo debido a las estaciones del metro ha creado una ciudad más dispersa de lo que el mercado inmobiliario pudiera haber creado, debido a que los habitantes quieren estar cerca de las zonas urbanas densamente pobladas, lo que afecta al mercado inmobiliario. Esto demuestra que los usos de suelo han tenido un impacto limitado en las fuerzas de mercado, pero uno mucho mayor en la planificación del uso de suelo. Tveter (2018) realiza una investigación ex-post del efecto de un mercado laboral más amplio considerando los desplazamientos a puestos de trabajo, y concluye que los efectos de los desplazamientos pueden considerarse como prueba de la existencia de aglomeración en un análisis ex-post. Eliasson & Fosgerau (2019) consideran un número finito de ubicaciones laborales y residenciales en una distribución espacial arbitraria, siendo la residencia de los trabajadores fija y la elección del lugar de trabajo por parte del trabajador endógena, y se describe mediante un modelo general de utilidad aleatoria. Se

concluye que los WEI difieren, ya que, aunque se produzca el mismo cambio en el excedente del consumidor, el efecto del emparejamiento es internalizado en parte por los trabajadores en su elección de trabajo.

Las inversiones pueden llegar a un área debido a la mejora de su accesibilidad, Johansen & Hansen (2016b) desarrollan una alternativa mediante un modelo Spatial Computable General Equilibrium (SCGE) que toma en cuenta la dinámica urbana, modelando las fuerzas económicas centrípetas que producen cambios en el clúster urbano y las imperfecciones en los mercados adyacentes al del transporte, permitiendo estimar el beneficio directo del usuario y el WEI de los cambios en la infraestructura. Guzman et al. (2014) presentan una función objetivo maximizando el bienestar social y la tarifa de peaje como variable a definir. Se utiliza la teoría de sistemas dinámicos (SD) para modelar sistemas complejos a largo plazo en el uso de suelo y transporte que vincula los subsistemas del uso de suelo y transporte y la optimización. Emplean la interacción entre un modelo LUTI y el proceso de optimización mediante la función objetivo que se basa en un desarrollo dinámico del ACB.

La concentración de personas y servicios pueden crear beneficios debido a la cercanía de recursos y servicios. Graham & Gibbons (2019) dan tres vías para evaluar los impactos de la aglomeración en los planes de transporte dentro del ACB. Primero calculando el acceso a la masa económica a través de las densidades efectivas para pequeñas zonas espaciales de la ciudad o región de interés. Segundo, estimando las elasticidades de aglomeración. Tercera, calculando el impacto esperado del sistema de transporte propuesto en la productividad. Venables (2004) presenta un modelo de equilibrio computable con estimaciones econométricas en la que se toma la relación entre la dimensión de una ciudad y la productividad con la intención de mejorar la evaluación en las mejoras de transporte. Bröcker (2013) desarrolla un modelo de equilibrio general computable espacial (SCGE) para el análisis de la inversión en infraestructuras de transporte, en el que se considera el sector

doméstico y un sector productivo con dos industrias, una que produce bienes locales y otra que produce bienes comerciables.

El impacto de la reducción de los tiempos de viaje tiene relación con el bienestar, Bröcker (2013) mediante un modelo de crecimiento espacial endógeno maximizado por el beneficio o utilidad, encuentra que la generación de inversión en la infraestructura de transporte genera una externalidad positiva en un marco de crecimiento endógeno, debido a que se reduce el tiempo del viaje en vehículo privado induciendo beneficios que los usuarios valoran más que la propia reducción de costes. Esto implica que los beneficios son subestimados por el análisis tradicional de costes y beneficios que no tiene en cuenta la externalidad positiva. Legaspi et al. (2015) modelizan los cambios de los viajes realizados en coches privados y transporte público, así como los cambios en el tiempo de viaje, el tiempo de espera y los costes de viaje generalizados. Estos datos se combinan con los datos macroeconómicos sobre el empleo y la productividad para estimar los beneficios del bienestar y los impactos del proyecto en el PIB. La mayoría de los beneficios provienen de la aglomeración, con algunos beneficios de ahorros de tiempo de viaje y aumento en la oferta de mano de obra, representando un aumento del 8% en beneficios en comparación a los obtenidos en un ACB convencional.

### **5.3.3. Sobre los impactos de no directa monetización**

El ACB es la metodología más utilizada para la evaluación de proyectos de transporte, con la desventaja de no considerar algunos impactos de no directa monetización, llevando a la posible selección de proyectos que puedan provocar pérdidas financieras o de bienestar, contradiciendo la finalidad de la inversión. También, en el ACB los precios de mercados perfectos reflejan la disposición de los usuarios a pagar (Willingness to Pay, WTP) debido al servicio prestado, cuando en realidad existen distorsiones que pueden llegar a tener gran importancia, siendo necesaria su inclusión en la evaluación de proyectos.

Por este motivo es importante examinar los avances actuales en la consideración de los impactos de no directa monetización y los WEI en el ACB.

La base del ACB es la medición de los beneficios en términos de reducción de los costes de producción. El beneficio principal por mucho tiempo fue el tiempo de viaje, buscando aumentar la productividad del transporte de mercancías al disminuir el tiempo de recorrido. El transporte es un sector que fue creciendo al igual que las emisiones producidas y, actualmente, es uno de los grandes contribuidores del cambio climático, lo que ha llevado a los investigadores a buscar las herramientas para poder monetizar estos costes.

Se muestra un aumento importante en el número de impactos estudiados en el ACB, y la importancia que se le ha dado a la inclusión de impactos de no directa monetización en el ACB viene directamente de las políticas de transporte hacia un transporte más sostenible.

Las infraestructuras de transporte deben ser fiables para facilitar el acceso a mercados y servicios. Se ha cuantificado y monetizado dependiendo de su rendimiento en un determinado lapso de tiempo con variables como el tiempo de viaje, el flujo de tráfico, la velocidad, capacidad, facilidad o dificultad para realizar un traslado. La fiabilidad de las infraestructuras está relacionada con su rendimiento al ofrecer un ahorro de tiempo, conectividad y productividad, por eso se han realizado trabajos para la clasificación de su importancia. La fiabilidad del transporte también tiene que ver con la oportunidad de reducir las desigualdades económicas y permitir a las regiones alejadas de los centros urbanos el acceso de servicios de educación, salud y comercio.

Las intervenciones en las infraestructuras pueden ayudar a la posible disminución de accidentes. La valoración de los accidentes y seguridad en el ACB está relacionada con la estimación de los costes de las acciones para su reducción, por lo regular estimando el número de accidentes y víctimas (fatales o no fatales) en los casos de realizar la intervención o sin ella, realizando una

estimación de costes con valores monetarios estimados para cada caso considerando la disposición a pagar de los usuarios por una mayor seguridad.

La accesibilidad no se refiere solamente a la adaptación de las infraestructuras para las personas con capacidades diferentes, sino también al acto económico de poder trasladar a mayores distancias a personas y mercancías. Se han encontrado formas de monetizar la accesibilidad, basada en tarifas, tiempos de viaje y lugares de acceso, las cuales están basadas en medidas productivas. Aún falta trabajo para incluir la accesibilidad como un beneficio con matices más sociales (equidad, mejora en la salud y bienestar) para un amplio sector de población. Existen trabajos que comienzan a valorar los tipos de beneficios de la accesibilidad y, haciendo énfasis a quienes se beneficia, es el primer paso para poder incluirlos en el marco del ACB.

La distribución de los impactos (positivos y negativos) de las infraestructuras de transporte es complicada de evaluar, pero es importante ya que afecta las oportunidades a las que puede acceder una persona. Se ha cuantificado la equidad horizontal, donde todas las personas, comparables, reciben los mismos impactos producto de la intervención en la infraestructura, y la equidad vertical, donde los impactos son distribuidos según la desigualdad. La evaluación de la equidad tiene muchas perspectivas y métricas, se deben planificar los proyectos de transporte reflejando la situación del área de impacto de la infraestructura, pero se tiene que recordar que la intención de las infraestructuras es realizar un cambio positivo en el bienestar.

El gran motivador para la creación de infraestructuras es el desarrollo económico debido a la conexión espacial de diferentes áreas geográficas creando vínculos entre lugares. Se tiene que considerar que los beneficios son a largo plazo y que están relacionados con las políticas de desarrollo urbano. Existen factores externos que pueden influir en el resultado, no se puede esperar que construyendo una infraestructura el crecimiento se genere de forma espontánea. Se debe planificar una serie de procesos a diferentes

niveles de gobierno para fomentar ese crecimiento económico en conjunto con la nueva transformación espacial.

Las infraestructuras de transporte son muy visibles y son relevantes tanto en entornos rurales como en zonas urbanas. La imagen de un entorno está relacionada con una escena, donde puede haber un vínculo entre las personas y el sitio. Estos vínculos pueden ser físicos, culturales o algo distintivo del lugar, y las inversiones de transporte pueden llegar a alterarlos. No todos los lugares deben de tener todas las infraestructuras posibles, solo las que ayuden a que estos sitios sean reconocidos y ayuden a resaltar sus elementos distintivos.

El ruido producido tiene un fuerte impacto en lo social, espacial y la biodiversidad. Los afectados por el ruido tratan de alejarse lo más posible de la fuente del ruido, pero existe un sector que no puede desplazarse a un sitio más tranquilo. Las infraestructuras con alta contaminación acústica hacen notoria la desigualdad social y espacial, el coste del ruido debe estar relacionado con los gastos para su reducción, así como la reparación de sus daños. El ruido puede ser un factor para una baja productividad, pero también afecta a la salud y el bienestar. Su reducción se reflejará en un aumento de productividad y una disminución en gastos de salud pública.

Las emisiones producidas por el sector del transporte repercuten a todo el mundo. Se ha dado mucha importancia a su cuantificación debido a su alto impacto en la salud y en la degradación ambiental. Se han desarrollado y aceptado instrumentos en la metodología del ACB que monetizan las emisiones que afectan la calidad del aire y el cambio climático, reflejando los beneficios de la reducción de las emisiones en las infraestructuras. El transporte puede llevar al desarrollo económico y social, pero debe ser más sostenible, los instrumentos para la monetización de las emisiones han llevado a que las infraestructuras lo sean un poco más pero aun falta trabajo, ya que existe una necesidad de transporte público eficiente para evitar la dependencia del automóvil privado.

Las infraestructuras pueden llevar a la erosión y a la contaminación del suelo debido a los movimientos de tierra, provocando una pérdida de productividad en tierras fértiles. La contaminación del suelo afecta a la población vulnerable en caso de que los contaminantes entren en los mantos acuíferos del subsuelo afectando a la salud, además de la pérdida de espacios residenciales y recreativos por la imposibilidad de utilizarlos, creando un problema en el mercado inmobiliario.

El crecimiento económico va de la mano con la generación negativa de impactos a la biodiversidad. La conexión de áreas urbanas con rurales puede llegar a perturbar la biodiversidad del sitio o bien fragmentarla. Se ha puesto atención a la mitigación de los impactos negativos para la conservación de la biodiversidad como pasos de fauna y barreras como solución a estos problemas de las infraestructuras de transporte. La monetización se ha dirigido al coste de los mecanismos para su reducción, pero seguirá habiendo pérdidas en biodiversidad. Sin olvidar la posible deforestación por la construcción de la infraestructura que reduce la cantidad de dióxido de carbono que se puede procesar mediante los árboles.

La huella de material es conocer su impacto durante su ciclo de vida en las infraestructuras. Se han realizado modelos híbridos entre el LCA y el ACB para conocer su impacto real, además, conocerlas podría habilitar una política de economía circular. La huella de material debería de medir la cantidad de materiales consumidos para la realización de la infraestructura y la cantidad de materiales en los procesos. La huella de material también puede servir para conocer el origen de los materiales y, de esta manera, descubrir los aspectos sociales del origen (cómo se extrae, dónde, quiénes, etc.), además de fomentar la economía local.

Los impactos de las infraestructuras del transporte en el agua, los cuales pueden ser negativos, llegan a afectar a la calidad, flujo o dirección de los



cuerpos de agua. Hay que recordar que las infraestructuras de transporte en muchas ocasiones inciden en el flujo de los cuerpos de agua afectando a los más desfavorecidos. Se ha trabajado en la reducción de los impactos más usuales como las fugas de combustible o residuos de los vehículos que mediante las obras de drenaje pueden llegar a afectar cuerpos de agua durante su descarga, por lo que se deben considerar durante todo el ciclo de vida de la infraestructura.

En el impacto de la energía en las infraestructuras, se considera la reducción del tiempo de viaje relacionándolo con un menor gasto de combustible, pero no se considera la volatilidad de su precio que puede afectar las decisiones de los posibles usuarios de la infraestructura para utilizarla. Las nuevas infraestructuras que vinculan centros urbanos y rurales pueden reducir la desigualdad energética, ya que durante su construcción pueden mejorar o aumentar la red energética, pero también fomentar el uso de un mayor gasto energético. El consumo energético proviene de la operación de vehículos. Gran parte de esta energía proviene de energía no renovable.

#### **5.3.4. Sobre los impactos económicos amplios**

La investigación de los impactos de los WEI generados por las infraestructuras de transporte se inicia en el 2000, tomando gran importancia entre los investigadores. Se ha realizado una gran cantidad de trabajos logrando clasificar los WEI según su tipo de impacto, presentándose retos metodológicos para su evaluación. El impacto de los WEI es complejo de cuantificar debido a factores como los beneficios de otras inversiones o regulaciones, llevando a una posible doble contabilización de efectos. Los beneficios pueden ser muy dispersos, a largo plazo, y puede haber una redistribución de estos, alrededor de la infraestructura.

Una gran cantidad de personas prefiere vivir en los grandes centros urbanos, donde pueden tener acceso a un mercado laboral mucho más amplio y con

muchos más servicios que en zonas apartadas. Las infraestructuras de transporte pueden habilitar aglomeraciones en torno a ellas, ya que las personas buscarán una mejor movilidad hacia las zonas más productivas a las que se encuentren conectadas. Las infraestructuras pueden aglomerar industrias, servicios y mano de obra especializada, lo que puede ser beneficioso para el desarrollo económico. Esto puede ocasionar una fragmentación espacial y un alza en precios de la vivienda vinculada a la distancia de las infraestructuras de transporte, lo que puede llevar a problemas sociales por falta de vivienda, servicios públicos y planificación urbana.

La cuantificación de los beneficios de los WEI producidos es subestimada por el ACB tradicional. No existe una metodología concreta para su cuantificación, gran parte de las investigaciones han utilizado algún tipo de Computable General Equilibrium (CGE). Aún falta mucho trabajo para entenderlos mejor, ya que son de importancia y pueden ser decisivos para la evaluación de los proyectos de infraestructura.

#### **5.4. Conclusiones del panorama general de los impactos en el ACB**

Para conocer los esfuerzos realizados para la integración de los impactos de monetización indirecta y los WEI en el ACB, se realizó una revisión sistemática bibliográfica de los documentos obtenidos de dos bases de datos distintas y, posteriormente, una inclusión o exclusión de documentos mediante criterios establecidos. La mayoría de los documentos se centran en el transporte por carretera, seguido del ferrocarril, aéreo y marítimo. No se encontraron documentos que consideraran otras formas de transporte.

La búsqueda abarcó un periodo de 50 años, resultando que la mayor cantidad de documentos de investigación sobre la cuantificación de los beneficios de no directa monetización, se publicó en los últimos 20 años. Gran parte de la

investigación en años anteriores fue dirigida a impactos de no directa monetización con un alto perfil productivo y menos complejos de cuantificar. El estudio de los WEI es reciente, pero con una cantidad importante de investigación publicada.

Existe una tendencia a investigar el área más social de los impactos de no directa monetización y los WEI, buscando justicia social para los más desfavorecidos. Las políticas actuales de transporte promueven este cambio de rumbo en la investigación, lo cual es algo positivo debido a que fomentan estudiar otros aspectos de los impactos de las infraestructuras de transporte.

Existe una falta de trabajo de investigación en los impactos de no directa monetización para formalizar las evaluaciones de proyectos de infraestructura para medios activos de transporte (bicicleta o peatonales) y los nuevos medios de movilidad personal (patinete eléctrico, ciclomotores), la primera con un crecimiento en la última década y la segunda recientemente con el crecimiento de los vehículos eléctricos. Las metodologías actuales se han centrado en costes directos y ahorros de tiempo.

A pesar de que existe una amplia investigación para cuantificar y, posteriormente, monetizar algunos de los impactos de no directa monetización y WEI, la mayoría de los investigadores no mencionan la posibilidad de utilizarlas en el ACB y sugieren utilizarlos como complemento. El ACB es la metodología más importante para la evaluación de proyectos, pero falta trabajo para considerar este tipo de impactos dentro de su metodología más allá de ser un simple complemento.

# **6. CAPÍTULO 6: Una revisión de los impactos considerados en diferentes pautas del ACB en proyectos de infraestructura de transporte**

## **6.1. Revisión de pautas ACB**

En esta sección se analizan los costes y beneficios que se incluyen en las pautas de los ACB empleados por organismos de gobierno como herramienta para de apoyo a la toma de decisiones en proyectos de transporte, las cuales son: Guía del Análisis Coste Beneficio para proyectos de inversión de la EC, la de Estados Unidos (US) y la de Nueva Zelanda (NZ).

### **6.1.1. La Guía de ACB para proyectos de inversión en transporte de la EC**

La Guía de Coste Beneficio para proyectos de inversión de la EC (Guía ACB) para los proyectos de transporte por carretera, tiene como objetivo orientar sobre las reglas comunes para el uso a nivel europeo del ACB para grandes proyectos, refiriéndose a obras con un coste total superior a 50 millones de euros. Tienen la intención de asegurar la mejora en el desplazamiento de personas y mercancías con el fin de obtener una mejor accesibilidad, movilidad y seguridad, mediante la mejora de la calidad y seguridad de las infraestructuras; Una mejor vinculación entre los estados miembros de la UE,

que fomente el mercado único y satisfaga la demanda de transporte, mediante el desarrollo de las infraestructuras de transporte y la mejora de los servicios de transporte; Fomentar el desarrollo económico nacional o regional mediante la inversión en infraestructuras de nueva creación, ampliación o enlace (European Commission, 2014).

### **6.1.2. La Guía de ACB para proyectos de inversión del U.S Department of Transportation**

La intención de la aplicación del ACB en proyectos de transporte por carretera es garantizar que la financiación se destine a proyectos que contribuyan a la vitalidad económica de los usuarios y a la nación en su conjunto. Mediante un sistema de transporte eficiente, realizando reparaciones, ampliaciones y modernizando las instalaciones envejecidas, pero también con proyectos de nueva creación para garantizar que sigan satisfaciendo las necesidades de la población y del mercado (USDOT, 2018).

### **6.1.3. La Guía de ACB de la Agencia del Transporte de N.Z.**

La finalidad de la aplicación del ACB en proyectos de transporte por carretera es establecer un sistema de transporte de calidad que fomente el bienestar y la habitabilidad de la sociedad mediante proyectos de transporte de nueva creación, ampliación o mejora. El ACB debe identificar las repercusiones económicas (incluidas las sociales y medioambientales) en la toma de decisiones, independientemente de que puedan cuantificarse o no, estableciendo coherencia, transparencia y compatibilidad entre actividades para ayudar a evaluar su eficiencia económica (NZ Transport Agency, 2020a).

	EC	US	NZ
<i>Modo de Transporte</i>	General	Carretera	Carretera
<i>Tasa de descuento (%)</i>	3 - 5	7	4
<i>Indicadores de rendimiento económico</i>	VPN, B/C, TIR	VPN, B/C	VPN, B/C
<i>Indicador de decisión</i>	VPN	VPN, B/C	B/C
<i>Horizonte Temporal (años)</i>	hasta 30	Mejora: 20 Nuevo proyecto: 30	hasta 40
<i>Evaluación de riesgo</i>	Sensibilidad (Monte Carlo)	Sensibilidad (Monte Carlo)	Sensibilidad (Monte Carlo)

Tabla 7. Resumen de Guías. Referencia: Elaboración propia con datos de European Commission (2014); NZ Treasury (2015); USDOT (2018).

## 6.2. Revisión de etapas en aplicación del ACB

Las pautas revisadas tienen una similitud en su estructura. Si bien difieren en el número de pasos en que se divide su aplicación, se pueden dividir en 3 etapas:

1. Determinación del proyecto: En el se describe el contexto del proyecto, estableciendo los objetivos, dando a conocer las alternativas y la definición del caso base para realizar su comparación.
2. Identificación de costes y beneficios: Se identifican los costes y beneficios con/sin precios de mercado, por lo regular divididos en un análisis financiero y uno económico, descontados en el horizonte temporal de análisis para obtener los indicadores de rendimiento del proyecto.
3. Análisis de resultados e informe: Se interpretan los resultados y se clasifican las alternativas. Se realiza un informe en el que se muestran los resultados del ACB y también se muestran los indicadores de rendimiento del proyecto, al igual que, los datos que se utilizaron para su obtención.

## **6.2.1. Análisis financiero**

### *6.2.1.1. Costes de inversión*

- EC: Se recomienda presentar tanto el coste total del proyecto como el valor unitario. Las infraestructuras deben mostrarse por separado para permitir la evaluación comparativa e incluir todas las obras necesarias para su funcionamiento, coste de la tierra (propiedad) y costes de protección ambiental (European Commission, 2014).
- US: El coste de capital de un proyecto es la suma de los recursos monetarios necesarios para llevar a cabo el proyecto, incluyendo, los costes directos de construcción, los costes de capital, costes de planificación, diseño de proyectos, revisiones ambientales, adquisición de terrenos, reubicación de servicios públicos o transacciones para asegurar el financiamiento (USDOT, 2018).
- NZ: Son los costes necesarios para la planificación, análisis y entrega de la infraestructura de transporte. Los costes deben de incluir cualquier contingencia en la estimación de los costes de la infraestructura, que puede provocar un sobrecoste (NZ Transport Agency, 2015).

### *6.2.1.2. Costes de operación y mantenimiento*

- EC: Operación y mantenimiento (O&M) se puede agrupar en las siguientes categorías; operación de infraestructura, operación de servicios, gestión de servicios, mantenimiento de rutina y mantenimiento periódico. En el análisis financiero, se estiman en los escenarios dentro y fuera del proyecto (European Commission, 2014).
- US y NZ: Las instalaciones de transporte requieren O&M continuo para brindar el servicio adecuado, mantener los activos en condiciones operativas y sus costes deben de incluirse durante todo el período de análisis y deben estar directamente relacionados con los planes de

servicio propuestos para el proyecto (NZ Transport Agency, 2015; USDOT, 2018).

#### 6.2.1.3. *Proyecciones de ingresos*

- EC: Las entradas financieras son el producto de los cargos aplicados a los usuarios por el acceso a la infraestructura, los cuales se estiman en base de: Pronóstico del volumen de tráfico, proyección de cambios en el sistema de tarifas y la política de precios, pronóstico de tráfico para cada proyección del sistema de tarificación y proyección de subsidio. En caso de no cubrirse completamente el coste de operación, el vacío debe llenarse con otras fuentes para evitar el cierre del servicio (European Commission, 2014).
- US: Los ingresos debido a cargos realizados a los usuarios (peajes, impuestos, etc.) por el derecho al acceso a la infraestructura de transporte, son una fuente importante para las agencias públicas para el financiamiento de la operación de la infraestructura. Estos cargos no se pueden considerar "beneficios" propios de la infraestructura, considerarlos de esta manera sería contar doble los beneficios, ya que el usuario decide pagar por una mejor seguridad, menor tiempo de viaje o costes operativos (Lawrence et al., 2014).
- NZ: Se realiza la comparación de los costes realizados en la infraestructura de transporte contra los ingresos para conocer la viabilidad financiera del proyecto. La brecha existente, si es que existe, se determina probando valores de brecha de financiamiento hasta encontrar que la suma del valor presente de los flujos de efectivo netos anuales es cero (Wallis et al., 2013).



## **6.2.2. Análisis económico**

### *6.2.2.1. Tiempo de viaje*

- EC: El ahorro de tiempo de viaje puede derivarse de la construcción de una infraestructura de transporte nueva o la mejora de la existente, distinguiendo entre la estimación del tiempo de viaje laboral y no laboral (European Commission, 2014).
- US: La estimación de los ahorros de tiempo de viaje dependerá de los cálculos de ingeniería y sus efectos en las operaciones de la infraestructura mejorada y la red de transporte del área local. Estas mejoras pueden reducir el tiempo de viaje de los conductores y pasajeros, incluido tanto el tiempo en el vehículo como el tiempo de espera (USDOT, 2018).
- NZ: La productividad y la utilización de la red tienen que ver con el uso eficiente de la red de transporte terrestre, buscado optimizar en lugar de maximizar el uso del sistema. La monetización de la productividad de la red se mide a través de los cambios en el tiempo de viaje y los costes financieros del uso del transporte (NZ Transport Agency, 2020a).

### *6.2.2.2. Costes de operación de vehículos*

- EC: Los costes operativos de los vehículos se definen como los costes asumidos por los propietarios de los vehículos para operarlos, incluido el consumo de combustible, el consumo de lubricantes, el deterioro de los neumáticos, los costes de reparación y mantenimiento (European Commission, 2014).
- US: Los ahorros en los costes operativos comúnmente son el resultado de la mejora de los proyectos de infraestructura de transporte, generando un menor consumo de combustible y otros costes operativos (USDOT, 2018).

#### 6.2.2.3. *Accidentes*

- EC: Las actividades de transporte implican un riesgo para los usuarios de sufrir un accidente. Ya sea por fallo mecánico o, más comúnmente, por la influencia de errores humanos (European Commission, 2014).
- US: Las mejoras en la infraestructura de transporte ayudan a reducir la probabilidad de muerte, lesiones y daños materiales, al reducir el número de choques y/o su gravedad (USDOT, 2018).
- NZ: Existen tres variables a considerar, la primera es el "El coste social de las muertes y lesiones graves" que incluye el coste para el usuario, el coste del sistema de salud y los costes por demora en la red. Se considera la pérdida de vida, producción, incapacitación, costes legales y daños a la propiedad. En los accidentes no solo se impacta al usuario también a sus familiares y amigos que se pueden verse afectados por el accidente. La Segunda es la " Seguridad del sistema" que se centra en la inversión destinada a la mejora de la seguridad del sistema. La tercera es "La percepción de seguridad y protección", son los atributos físicos como iluminación, cámaras de seguridad y controles de velocidad que mejoran la sensación de seguridad (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.4. *Ruido*

- EC: La contaminación acústica se puede definir como el "sonido exterior no deseado que tiene efectos negativos en la salud humana". Las emisiones de ruido tienen un impacto local, relacionando la magnitud del efecto con la ubicación de la infraestructura, las vibraciones afectan la calidad de vida y la producción de ciertos bienes (European Commission, 2014).
- US: La contaminación acústica se produce por altos niveles de sonido ambiental que causan molestar, distracción o daño a personas y animales. El Departamento de Transporte de los Estados Unidos no

cuenta con un medio confiable para estimar el valor público de las reducciones de ruido (USDOT, 2018).

- NZ: El ruido y las vibraciones tienen efectos significativos en la salud humana, principalmente con la interrupción del sueño y el estrés. Los seres humanos son sensibles a las vibraciones y el ruido, que pueden provenir de la construcción, operación, mantenimiento y uso de la infraestructura de transporte terrestre (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.5. *La contaminación del aire*

- EC: Las inversiones en transporte pueden afectar considerablemente la calidad del aire, reduciendo o aumentando el nivel de emisiones contaminantes, teniendo efectos nocivos sobre la salud, causando daños a edificios y teniendo impactos sobre la naturaleza (European Commission, 2014).
- US: Los daños económicos provocados por la exposición a la contaminación atmosférica son soportados por la sociedad en su conjunto más que por los viajeros y operadores de transporte quienes generan esas emisiones. Los proyectos de transporte pueden reducir el consumo general de combustible y, por lo tanto, pueden producir beneficios climáticos y otros beneficios ambientales (USDOT, 2018).
- NZ: Los efectos de las emisiones atmosféricas de los vehículos de transporte terrestre que impactan en la salud humana, se monetizan, asignando un coste a cada tonelada de contaminante en la forma de sustituto del daño causado a las personas que expuestas a los contaminantes del aire (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.6. *Cambio climático*

- EC: Es el coste económico de las variaciones positivas o negativas de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), las principales emisiones son dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano

(CH<sub>4</sub>). Estas emisiones contribuyen al calentamiento global, por tanto, tiene un impacto global y el coste relacionado no depende de la ubicación de la inversión (European Commission, 2014).

- US: Los GEI tienen impactos duraderos incluso intergeneracionales, a diferencia de todas las demás categorías de beneficios (USDOT, 2018).
- NZ: El transporte de carretera es el mayor contribuidor de emisiones, se debe de identificar el número de vehículos que emiten gases de efecto invernadero, obtener su consumo de combustible y de esta manera poder monetizar las emisiones (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.7. *Beneficios para usuarios existentes y adicionales*

- US: Los principales beneficios de un proyecto surgirán en el "mercado" que el proyecto mejoraría, y sus usuarios los experimentarían directamente. Los usuarios atraídos por la mejora están dispuestos a pagar menos por los viajes que los usuarios originales (USDOT, 2018).
- NZ: La experiencia del usuario puede incluir comodidad, simplicidad, conveniencia, hacinamiento, tiempo de viaje y el estado de la red (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.8. *Pérdida de servicios de emergencia*

- US: Los proyectos de transporte pueden ayudar a reducir la frecuencia de las demoras de los servicios de emergencia, generando beneficios al reducir los daños ocasionados por su retraso (USDOT, 2018).

#### 6.2.2.9. *Desvío modal*

- US: Las mejoras en la infraestructura o los servicios de transporte pueden atraer a usuarios adicionales de rutas alternativas o modos de transporte, es un reto capturar los impactos de dicha desviación dentro

del ACB y debe examinarse cuidadosamente para garantizar que dichos beneficios se calculen correctamente dentro del análisis (USDOT, 2018).

- NZ: Es fundamental conocer las variables que pueden alentar o disuadir a un usuario de seleccionar un modo de transporte, el usuario asigna un valor a la opción, es decir, el valor para las personas o grupos de conocer o tener disponibles opciones de modo de transporte, incluso si no se utilizan (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.10. *Impactos en la zona de trabajo*

- US: Un ejemplo común de "desventajas" asociadas con los proyectos de transporte es el impacto durante las actividades de construcción o mantenimiento, como retrasos en el tráfico y aumento de la inseguridad y los costes operativos de los vehículos (USDOT, 2018).

#### 6.2.2.11. *Economías de aglomeración*

- US: La infraestructura de transporte mejora las conexiones entre comunidades, personas y empresas remodelando la geografía económica de una región. La teoría económica de la aglomeración sugiere que las empresas y los hogares disfrutan de beneficios positivos derivados de la concentración espacial de la actividad económica. Estos beneficios pueden derivarse de un intercambio más eficaz de información e ideas, acceso a grupos de mano de obra más grandes y especializados (USDOT, 2018).
- NZ: Los cambios en la productividad es el resultado de la aglomeración, donde la escala y la concentración espacial permiten un aumento en la productividad al permitir un mejor aprendizaje, unión e intercambio (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.12. *Estado de buena reparación*

- US: Son los beneficios del proyecto mientras se reemplazan, reparan o mejoran los activos de transporte existentes para llevarlos a un estado de buena reparación. Por lo general, se recogen mediante factores de coste y beneficio, como el mantenimiento, los costes de reparación de los activos, la mejora de la seguridad, la mejora de la fiabilidad y la calidad del servicio o de las instalaciones (USDOT, 2018).

#### 6.2.2.13. *Resiliencia*

- US: Al incorporar los beneficios de la resiliencia se requiere una comprensión de la frecuencia esperada de cada evento estresante y los impactos económicos de estos en las infraestructuras (USDOT, 2018).
- NZ: Son las vulnerabilidades y redundancias del sistema, se trata de reducir el riesgo de exclusión de las comunidades a oportunidades sociales y económicas debido a interrupciones del sistema. También pueden estar relacionados con la preparación de soluciones para garantizar que se satisfagan las necesidades económicas y sociales de las comunidades (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.14. *Calidad de vida*

- US: Los proyectos de transporte pueden brindar beneficios que mejoran la calidad de vida, pero no se pueden monetizar fácilmente, estos pueden ser tan variados como una mejor conectividad peatonal, una mayor accesibilidad a comunidades remotas, u otras comodidades localizadas. Se debe proporcionar los datos cuantificables de los impactos, centrándose en los cambios que se espera que genere el proyecto de mejora del transporte en sí (USDOT, 2018).

- NZ: El impacto del modo de transporte en la salud física y mental tiene relación con la elección del modo de transporte de los usuarios que se asocia a la adopción de modos activos (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.15. *Incremento del valor de la propiedad*

- US: Los proyectos de transporte pueden aumentar la accesibilidad o mejorar el atractivo de las parcelas de tierra cercanas a la infraestructura, lo que resulta en un aumento del valor de las propiedades (USDOT, 2018).
- NZ: Se trata del papel del sistema de transporte en permitir y mantener las funciones normales de una comunidad, con otras comunidades o bien zonas de la misma comunidad que debido a la falta de infraestructura de transporte puede sufrir una desconexión con el resto de la comunidad (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.16. *Confiabilidad del sistema*

- NZ: Consiste en que el usuario pueda contar con una experiencia de viaje similar en el sistema de transporte cada vez que tiene las mismas condiciones de viaje (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.17. *Empleo*

- NZ: Un impacto importante de las infraestructuras de transporte es la creación de empleo, no se refiere al directo o indirecto producido por la construcción. La infraestructura nueva o mejorada puede facilitar que las personas lleguen más rápido al trabajo y puede reducir los efectos de desaliento en los trabajadores al reducir los tiempos de viaje, lo que aumenta el rendimiento del trabajador (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.18. *Competencia imperfecta*

- NZ: Al mejorar la infraestructura de transporte la producción aumenta en sectores donde puede existir diferencias entre el precio del producto y su coste marginal. El ACB convencional supone que los sectores económicos operan en competencia perfecta, donde el precio es igual a los costes marginales. Sin embargo, al existir margen entre el precio y el coste, existe una brecha entre los costes laborales brutos por hora y el valor de mercado de lo que se produce en esa hora (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.19. *Desarrollo económico regional*

- NZ: Existe un cambio en la demanda de bienes y servicios producidos, aumento del producto interno bruto o del ingreso nacional bruto (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.20. *Contaminación del agua*

- EC: La contaminación de cuerpos de agua ocurre al descargar contaminantes de forma directa o indirecta sin un tratamiento adecuado, afectando seriamente la calidad del agua, biodiversidad y a la sociedad (European Commission, 2014).
- NZ: Las infraestructuras de transporte durante su ciclo de vida, pueden tener un gran impacto en el flujo y calidad del agua, teniendo efectos a corto o largo plazo, impactando el entorno natural o el artificial (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.21. *Impacto en la tierra y la biodiversidad*

- EC: La presencia de químicos o alteraciones al suelo, debido a la actividad industrial o eliminación inadecuada de los desechos tienen



efectos a largo plazo en lo social y económico de la sociedad (European Commission, 2014).

- NZ: La biodiversidad es fundamental para la existencia de la vida, ya que personas, animales y otros organismos dependen de ella. Los recursos naturales sustentan el área económica y social de nuestra sociedad. Durante las diferentes etapas de su ciclo de vida las infraestructuras de transporte tienen un impacto en la biodiversidad (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.22. *Eficiencia de recursos*

- NZ: El uso sustentable de los recursos, materiales y la reducción del daño ambiental, puede ser posible minimizando los residuos al utilizar energías verdes y monitorizando la huella de carbono generada (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.23. *Acceso a oportunidades*

- NZ: El transporte puede funcionar como facilitador e integrador del uso del suelo, centrándose en la importancia de los destinos, servicios y actividades a los que se puede acceder de manera equitativa para permitir la participación económica y comunitaria (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.24. *Valores patrimoniales y culturales*

- NZ: Los valores culturales pueden estar estrechamente relacionados con los valores patrimoniales, los primeros son físicos y pueden expresarse en términos monetarios, los segundos se basan en percepciones y no se expresen tan fácilmente en términos monetarios. Los valores culturales se consideran beneficios tangibles e intangibles.

El entorno histórico es importante para la salud y el bienestar, jugando un papel importante en el desarrollo urbano y en la generación de actividad económica (NZ Transport Agency, 2020a).

#### 6.2.2.25. *Impacto en el paisaje*

- EC: Es la pérdida de valor recreativo o estético. Se puede pensar que solamente es para entornos rurales, pero puede que haya zonas urbanas que pueden verse afectadas (European Commission, 2014).
- NZ: La relación entre las personas y el paisaje se puede explicar como un reflejo en su relación (NZ Transport Agency, 2020b).

#### 6.2.2.26. *Paisaje urbano*

- NZ: Se trata de los constantes cambios en el entorno urbano, su forma y carácter que genera una identidad (NZ Transport Agency, 2020b).

### **6.3. Conclusiones del panorama de los impactos en las guías del ACB para proyectos de infraestructura de transporte**

Durante la evaluación de proyectos en la parte de análisis económico puede haber dificultades al valorar ciertas variables (sin valores de mercado) que se pueden identificar fácilmente. A pesar de las dificultades ha habido un progreso significativo para integrarlos en el proceso de análisis económico del ACB, pero aún se necesita realizar investigación en el área, porque no existen metodologías para su análisis, pero dada su importancia son variables a considerar en los proyectos de infraestructura de transporte. La mejora en el ACB y sus pautas de evaluación contribuye a tomar decisiones mejor informadas y una mejor disposición de inversiones, de ahí la importancia de traducirlos a los términos que sean más útiles a los tomadores de decisiones.

En la tabla 8, se muestra el recuento de los costes y beneficios de las pautas revisadas. La columna EC, US y NZ representan las pautas según el país y la columna Metodología la existencia de pautas para analizar el coste o beneficio según el país.

<b>Impacto</b>	<b>UE</b>	<b>Metodología</b>	<b>US</b>	<b>Metodología</b>	<b>NZ</b>	<b>Metodología</b>
<b>Coste de Inversión</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Coste de Operación y Mantenimiento</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Previsión de ingresos</b>	✓	✓	✓	X	✓	✓
<b>Tiempo de viaje</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Coste operativo de vehículo</b>	✓	✓	✓	✓		
<b>Accidentes</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Ruido</b>	✓	✓	✓	X	✓	✓
<b>Contaminación del aire</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Cambio climático</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Beneficios para los usuarios actuales y adicionales</b>			✓	✓	✓	✓
<b>Pérdida de servicios de emergencia</b>			✓	✓		
<b>Desvío modal</b>			✓	✓	✓	✓
<b>Impacto en las zonas de trabajo</b>			✓	X		
<b>Economía de aglomeración</b>			✓	X	✓	✓
<b>Estado de conservación</b>			✓	X		
<b>Resiliencia</b>			✓	X	✓	X
<b>Calidad de vida</b>			✓	X	✓	X
<b>Aumento del valor de la propiedad</b>			✓	X	✓	✓
<b>Fiabilidad del sistema</b>					✓	✓
<b>Empleo</b>					✓	✓
<b>Competencia imperfecta</b>					✓	✓
<b>Desarrollo económico regional</b>					✓	X
<b>Contaminación del agua</b>	✓	X			✓	X
<b>Impacto en el suelo y la biodiversidad</b>	✓	X			✓	X
<b>Eficiencia de los recursos</b>					✓	X
<b>Acceso a las oportunidades</b>					✓	X

<b>Patrimonio y valores culturales</b>			✓	✓
<b>Impacto en el paisaje</b>	✓	X	✓	✓
<b>Paisaje urbano</b>			✓	✓

Tabla 8. Impactos considerados en las guías CBA. Referencia: Elaboración propia con datos de European Commission (2014); NZ Transport Agency (2020a); USDOT (2018)

En el caso europeo los costes y beneficios tienen valores de mercado, o son de fácil conversión, para evitar que el cálculo tenga múltiples metodologías que puedan dificultar la evaluación en el posible caso de necesitar recursos de la CE para el financiamiento del proyecto. En el caso estadounidense mencionan algunos costes y beneficios sin valor de mercado, fomentando al evaluador a realizar su propia metodología con cautela y apoyándose en proyectos realizados con anterioridad. El caso neozelandés tiene una mayor consideración de costes y beneficios sin valor de mercado, los cuales intentan integrar en su ACB. Fomentan, por el momento, que el evaluador realice su propia metodología, pero mencionan que se proveerá de una metodología centralizada en futuras ediciones de los manuales.

Las pautas revisadas tienen una estructura similar en la aplicación del ACB, así que se puede decir que son guías con un ACB clásico, diferenciándose en los tipos de costes y beneficios que se consideran. Una consideración importante es la actualización de las guías, NZ (2020) y US (2018), mientras que la última actualización de la Guía ACB es del 2014. Con la experiencia ganada en las metas anteriores, se espera que haya una próxima actualización profundizando en estos y otros impactos, dado el inicio de la nueva etapa de políticas de cohesión de la EC.

# **7. CAPÍTULO 7: Guías para la evaluación de proyectos en infraestructuras de transporte.**

## **7.1. Sistema de Evaluación de Inversiones en Transporte (SAIT)**

Según el *Manual del Sistema d'Avaluació d'Inversions en Transport* (SAIT, 2015), este es un sistema de evaluación de inversiones en transporte que utiliza la metodología del ACB, impulsado por el Departamento del territorio y sostenibilidad de la *Generalitat de Catalunya* y desarrollado por el *Centre d'Innovació del Transport* (CENIT) de la *Universitat Politècnica de Catalunya* con ayuda de otras instituciones. La finalidad del SAIT es establecer una evaluación robusta, eficiente, rigurosa y de referencia común para las diferentes entidades del transporte vinculadas a la *Generalitat de Catalunya* en inversiones en infraestructuras viarias y ferroviarias.

El Manual del SAIT (2015) menciona que al ser un ACB tiene una visión de bienestar social, pero tomando como arranque un análisis financiero (AF), el cual busca el momento en el que los ingresos generados por el proyecto son capaces de cubrir sus gastos, modificando tres elementos clave del AF para, de esta manera, cambiar su perspectiva. El primero es la contabilización de costes y beneficios, pasando de considerar los flujos financieros reales entre

los agentes a flujos económicos que hagan un cambio en el bienestar de la sociedad. El segundo, es cambiar los precios de mercado del AF a Peaje sombra (*shadow toll*) en el ACB para corregir las distorsiones de mercado y de esta manera reflejar su coste de oportunidad social. El tercero es que, a diferencia del AF en el ACB se integran las externalidades que implican costes o beneficios sociales que derivan del proyecto.

El Manual del SAIT (2015) hace notar la diferencia en su metodología basada en el ACB con el AF, por lo que destaca la diferencia en término de “distorsiones de mercado” con la actualización de costes y beneficios. En el AF se considera una tasa de descuento que refleja el coste de oportunidad del capital, dado que al financiar un proyecto se renuncia a la realización de otro, generalmente se utiliza un tipo de interés de mercado. Por el contrario, el ACB emplea una tasa de descuento social con la intención de mostrar el enfoque social de la valoración de los costes y beneficios futuros con respecto a los actuales, reflejando la preferencia temporal social que no necesariamente debe de coincidir con el tipo interés de mercado.

Según el Manual del SAIT (2015), el ACB es una herramienta para la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida del proyecto. Por lo que tiene dos tipos de evaluación, la primera se realiza en la primera fase, el planteamiento, que comprende la concepción del proyecto, los estudios previos y el proyecto constructivo. La segunda evaluación se realiza en la tercera fase de operación después de haber dejado pasar tiempo suficiente para asegurar llegar a la demanda potencial. En la figura 20 se muestra las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto.

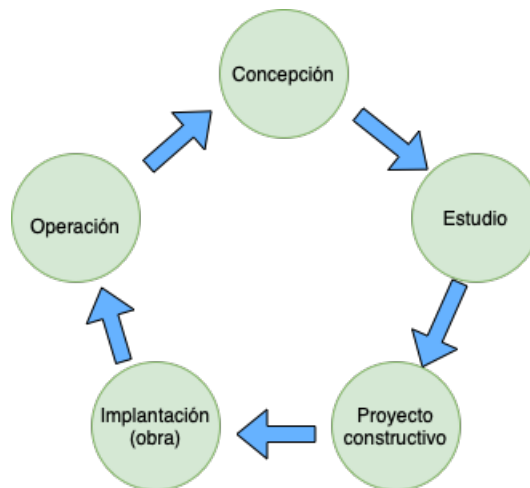


Figura 20. Ciclo de vida de un proyecto. Fuente: Elaboración con datos del SAIT (2015).

Para el Manual del SAIT (2015):

La primera evaluación es la llamada *ex-ante* con el objetivo de discernir proyectos con gran beneficio social y darles una prioridad, esto mediante diferentes niveles de información disponible, pudiendo generarse un estudio preliminar de ser necesario y modelos de proyección al futuro que conlleva un grado de incertidumbre en la valoración de la ganancia social del proyecto.

La segunda evaluación es la *ex-post*, y tiene como objetivo obtener información para valorar futuros proyectos, este análisis tiene la intención de permitir tomar medidas correctivas si se estima que la ganancia social no se encuentra en el nivel deseado.

### **7.1.1. Funcionamiento**

El Manual del SAIT (2015) detalla el proceso del ACB con la figura 21, de igual manera detalla de manera sencilla cada uno de los procesos los cuales se mencionarán a continuación:

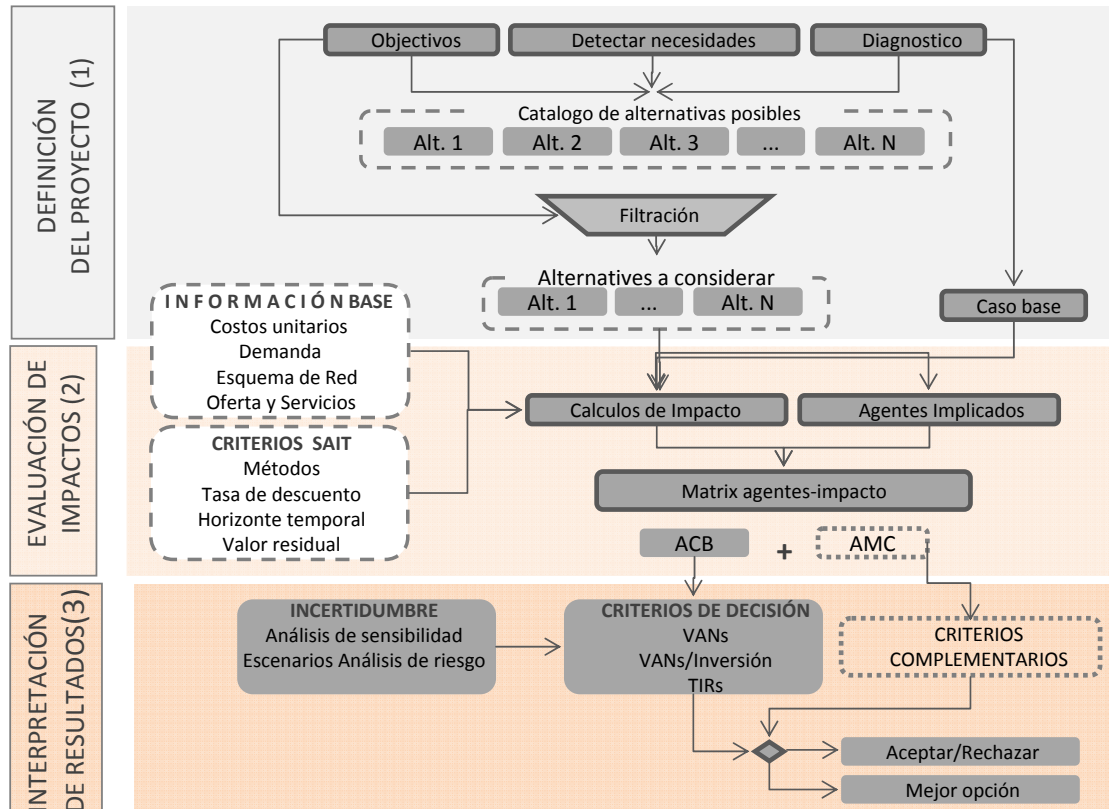


Figura 21. Las fases del ACB. Fuente: SAIT (2015).

#### 7.1.1.1. Definición del proyecto

- a) Localizar el problema
- b) Realizar un diagnóstico de la situación actual
- c) Definir los objetivos a alcanzar y definir los indicadores para su medición.
- d) Alternativas relevantes
  - (i) Considerando un aumento de capacidad, realizar inversión para aumentar el nivel de servicio y modos alternativos de transporte.
  - (ii) Filtrar y seleccionar las alternativas más relevantes según los indicadores y objetivos del ACB.
  - (iii) Las alternativas deben ser independientes y excluyentes.



- e) Caso base de referencia
  - i) Hacer la mínima inversión para mantener la capacidad del sistema de transporte y contempla el progreso natural de la situación.
  - ii) No hacer nada, es asumir que no se realiza ningún tipo de inversión en el sistema y se espera el deterioro de los activos, debería de ser utilizado en proyecto de rehabilitación o mejora.

### **7.1.2. Evaluación de los impactos**

#### *7.1.2.1. Definición de impactos*

Todo proyecto de transporte modifica los costes y beneficios para los agentes implicados en el sistema, pudiendo ser instituciones de la administración pública, compañías privadas o sociedad. Por lo tanto, es relevante para la administración pública conocer la distribución de impactos y localización de agentes beneficiados/perjudicados por las externalidades del proyecto.

##### (a) Costes:

1. Planificación
2. Obra
3. Expropiaciones
4. Mantenimiento
5. Medioambientales

##### (b) Beneficios:

1. Reducción de tiempo de viaje
2. Reducción de accidentes

Para poder valorar las externalidades del proyecto en su entorno se debe conocer la demanda, por lo que es importante tener el modelo adecuado, el SAIT hace mención a los *Modelos empíricos* los cuales son versiones simplificadas de la red de transporte con la intención de conocer los costes de

desplazamiento y obtener mediante un modelo logit o aplicaciones de elasticidad de referencia el cambio en los efectos. Los *Modelos de simulación* son una versión más detallada de la red de transporte con las posibles interacciones entre sus diferentes modos, con modelos de reparto (empíricos) de manera recursiva para lograr un equilibrio. En la figura 22 se muestra una representación de las fases en las cuales cada modelo de demanda es la más apropiada.

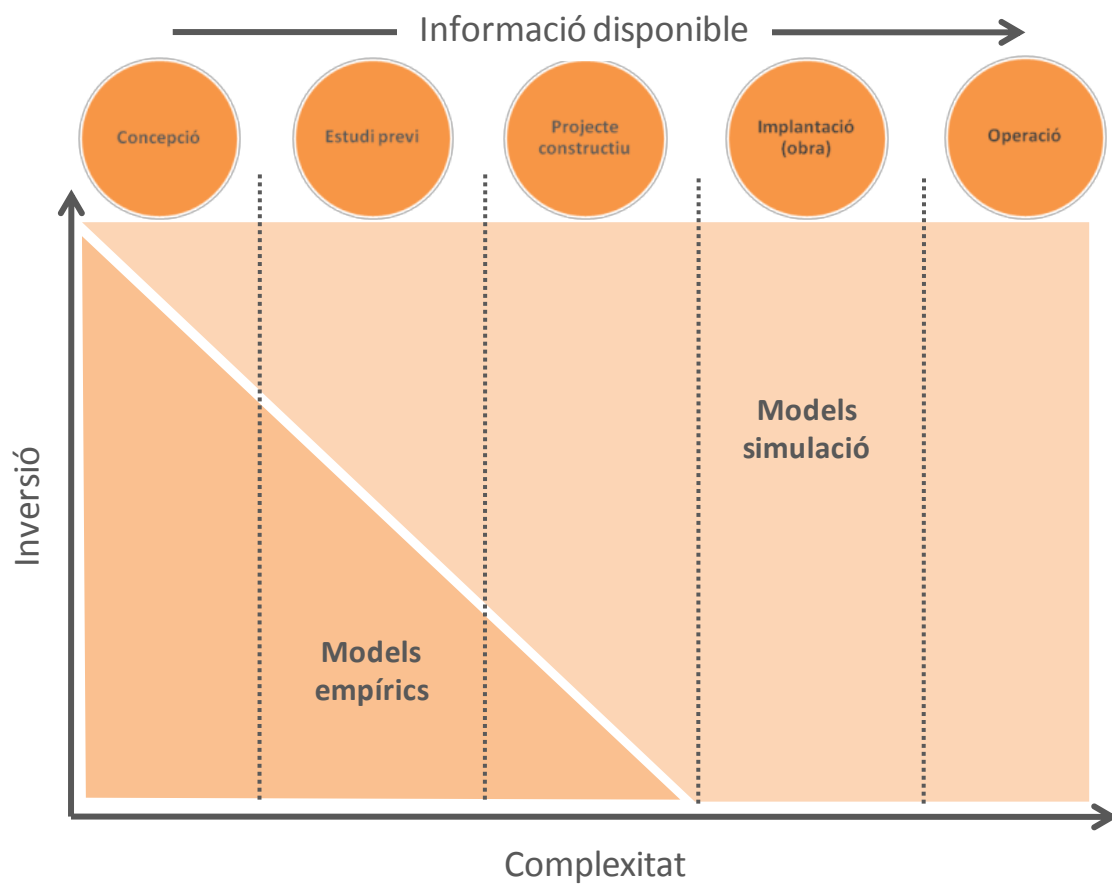


Figura 22. Modelos de demanda en relación a la inversión y complejidad de la red de transporte. Fuente: SAIT (2015).

#### 7.1.2.2. Definición de los agentes

Es necesario que se definan los agentes que se verán afectados por el proyecto. En las infraestructuras de transporte estos son:

- La administración pública
- La empresa constructora
- La empresa de ingeniería
- El operador
- Los diferentes tipos de usuario de la infraestructura
- Los no usuarios (sociedad)

El SAIT utiliza para integrar los efectos en cada agente una matriz de agentes-impactos, ver figura 23, de esta manera se puede incluir aspectos no monetarios dentro de la matriz siempre que no se haga una doble contabilización en el ACB.

		AGENTS											← VAnS per cada impacte		
		Administració pública	Regulador	Gestor d'infraestructures	Operadors			Contractista i suminist.	Asseguradores	Usuaris	No usuaris	Altres			
					Operador 1	Operador 2	...								
IMPACTES	Inversió	M	M	M				M						Σ fila	
	Operació	M	M	M	M	M		M						...	
	Manteniment	M	M	M	M	M		M						...	
	Usuaris	Temps									M				...
		Tarifes	M	M	M	M	M				M				...
		Cost.op.veh.									M				...
		Fiabilitat									M				...
		Confort									NoM				...
	Pol·lució											M		...	
	Canvi climàtic											M		...	
	Soroll											M		...	
	Vibracions											NoM		...	
	Accidents								M	M	M			...	
	Paisatge											M		...	
	Efecte barrera											M		...	
Ecosistemes											M		...		
Contaminació del sòl/aigua											M		...		
VAnS per cada agent →		Σ col.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	

Figura 23. Ejemplo de Matriz Agente-Impacto Fuente: SAIT (2015).

#### 7.1.2.3. *Valorar el impacto en el bienestar social*

El SAIT menciona que es necesario traducir los costes y beneficios a términos monetarios para poder contabilizarlos.

#### 7.1.2.4. *Tasa de descuento*

En la traducción de los costes y beneficios en el futuro es necesario utilizar un factor de descuento para trasladarlos al presente, de esta manera se obtiene el coste de oportunidad social que se invirtieron en el proyecto.

#### 7.1.2.5. *Horizonte temporal de evaluación*

Usualmente es la vida útil de los activos del proyecto.

### **7.1.3. Interpretación de resultados.**

En SAIT divide en dos etapas diferentes el proceso de elección de proyectos, en la primera etapa se toman las inversiones socialmente deseables en un plan de inversiones y en la segunda se establece un subconjunto de estos que se llevarán a cabo dependiendo de tu prioridad (política y estratégica) debido a las restricciones presupuestales y alternativas de inversión disponibles en otros ámbitos públicos.

#### 7.1.3.1. *Plan de inversiones*

El principal indicador para la toma de decisiones, eligiendo las mejores alternativas o proyectos, en el SAIT dentro del ACB es el  $VAN_S$  (Valor Actual Neto Social) que se mide como el "sumatorio por todo el horizonte temporal del proyecto (T) del cambio en la diferencia entre beneficios ( $Bs_t$ ) y costes sociales ( $Cs_t$ ) en cada intervalo de tiempo (t) descontados al presente a partir

de la tasa de descuento ( $r$ ), ver (2). Así mismo cuando existe participación de la iniciativa privada o existencia de restricciones presupuestales, se puede computar teniendo en consideración la diferencia de los beneficios y costes privados, con una tasa de descuento del tipo de interés de mercado, como el  $VAN_F$  (Valor Actual Neto Financiero).

$$VAN_S = \sum_{t=0}^T \frac{\Delta Bs_t - Cs_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

El SAIT utiliza como criterio de rentabilidad relativa de alternativa la  $TIR_S$  (Tasa Interna de Retorno Social), la cual iguala el  $VAN_S$  a cero, asumiendo que los ingresos obtenidos por la alternativa se reinvierten por completo a un tipo de interés igual a la  $TIR_S$ , los cuales pueden ser reinvertido en la alternativa o en otra, ver (3).

$$VAN_S = \sum_{t=0}^T \frac{\Delta Bs_t - Cs_t}{(1+TIR_S)^t} = 0 \quad (3)$$

El Manual del SAIT hace mención al Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO), recomendando usar el VAN relativo (VAN/Inversión), indicando que aclara el panorama sobre el retorno social gastado por cada unidad monetaria en la alternativa, donde un VAN positivo es socialmente rentable. También se menciona la relación costes y beneficios descontados al presente (B/C), la cual es una medida de rentabilidad relativa de las alternativas. El objetivo es la elección de la alternativa con el mayor beneficio social relativo, un VAN relativo lo más elevado posible.

$$\frac{VAN_S}{Inversión} = 0 \quad \frac{B}{C} = \frac{BT_S}{CT_S} \quad \text{donde} \quad BT_S = \sum_{t=0}^T \frac{Bs_t}{(1+r)^t} \quad (4)$$

$$CT_s = \sum_{t=0}^T \frac{C_{s_t}}{(1+r)^t}$$

Al existir restricciones presupuestarias se debe valorar la sostenibilidad financiera de las alternativas, mediante el beneficio financiero ( $VAN_f$ ). En la figura 24 se muestran los posibles criterios a considerar según el resultado de la valoración.

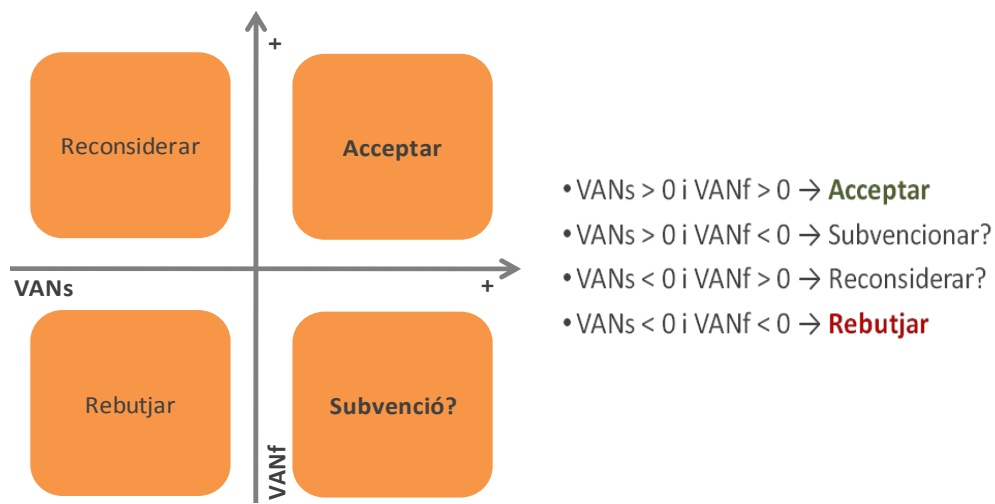


Figura 24. Criterios según resultados de los beneficios por restricciones presupuestarias. Fuente: SAIT (2015).

#### 7.1.4. Tratamiento de la incertidumbre

La incertidumbre dentro de la metodología del ACB es relevante por lo tanto se incluye de la siguiente manera:

##### 7.1.4.1. Identificar las variables donde existe incertidumbre

Con el análisis de sensibilidad se hace la suposición de la desviación en cierta medida (porcentaje) en cada variable, por lo tanto, se valora el impacto de la incertidumbre en los diferentes parámetros que puedan afectar el ACB. Sin embargo, los resultados del análisis pueden dar una falsa certeza, debido a la

desviación conjunta y correlacionada de los parámetros, pero siendo que estos son completamente independientes.

En la figura 25 se muestra la relación entre el VAN esperado y el porcentaje de desviación de una variable "A". Esto se puede describir como una elasticidad del VAN que es la relación entre el porcentaje del cambio del VAN con respecto al cambio del porcentaje de la variable A. El SAIT propone catalogar como variables críticas aquellas con elasticidad igual o mayor a 2 ( $\epsilon_{VAN} \geq 2$ ).

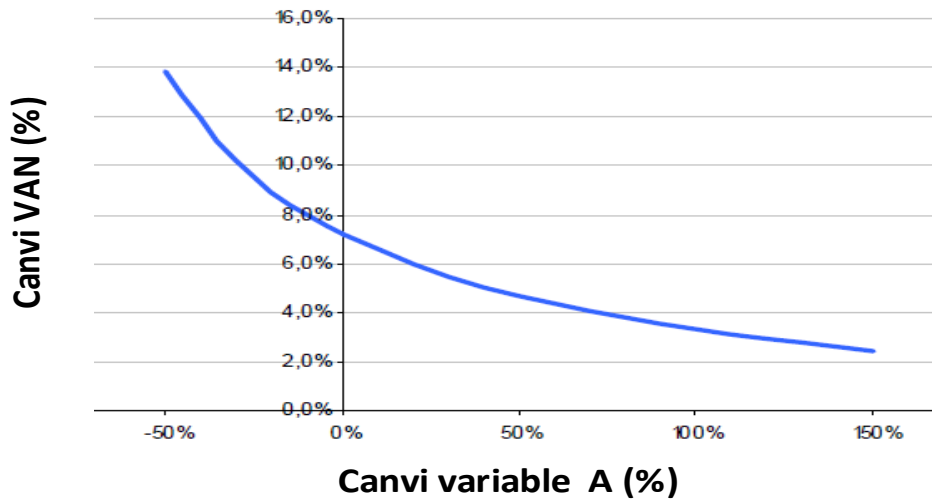


Figura 25. Ejemplo de análisis de sensibilidad. Fuente: Fuente: SAIT (2015).

#### 7.1.4.2. *Cuantificar la incertidumbre (rangos y distribución)*

Utilizando el Reference Class Forecasting se obtiene información sobre la distribución de probabilidad de las variables mediante una muestra representativa de proyectos similares a la evaluada.

#### 7.1.4.3. *Introducir la incerteza al ACB*

La técnica de Montecarlo es la simulación más usada para valorar la incertidumbre, con esto se puede obtener el valor esperado del Valor Actual

Neto Social ( $E(VAN_S)$ ), la función densidad ( $f_{VAN_S}(x)$ ) y la distribución de probabilidad acumulada ( $F_{VAN_S}(x)$ ).

El caso más simple en la distribución de densidad es el de mayor o menor que cero, y se considera que no existe incertidumbre pudiendo rechazar o aceptar el proyecto, ya que de esta manera se asume que no existe incertidumbre.

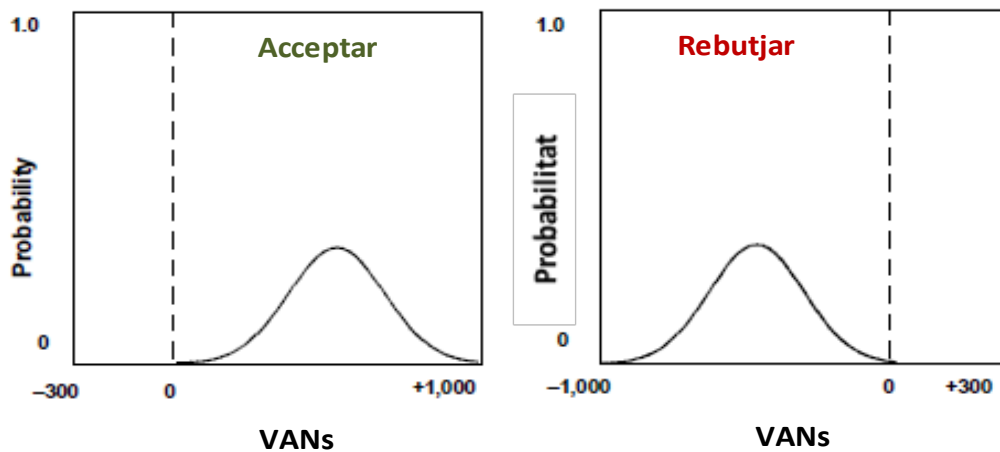


Figura 26. Ejemplo de la toma de decisión con densidad superior e inferior a cero. Fuente: SAIT (2015).

En el caso donde la distribución de probabilidad presenta valores superiores e inferiores a cero, se tiene que considerar dos dimensiones diferentes: el valor esperado del Valor Actual Neto Social ( $E(VAN_S)$ ) y la probabilidad acumulada de pérdida ( $F_{VAN_S}(x < 0)$ ). Para que el proyecto sea aceptado el VANS debe ser superior a Cero, caso contrario se impondrá que la probabilidad acumulada de pérdidas sea menor o igual a cierto umbral ( $\alpha$ ).



$$E(VAN_S) > 0; F_{VAN_S}(x < 0) \leq \alpha \rightarrow \text{Acceptar projecte}$$

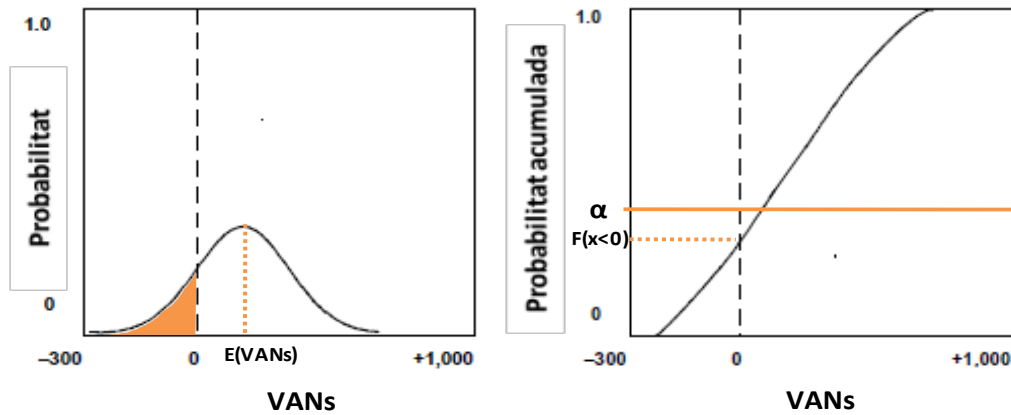


Figura 27. Ejemplo de incerteza en projecte. Fuente: SAIT (2015).

Al existir restricciones presupuestarias, el valor esperado del Valor Actual Neto Financiero ( $E(VAN_F)$ ) debe ser mayor o igual a cero o bien debe existir una probabilidad acumulada ( $F_{VAN_S}(x < 0)$ ) inferior a cierto umbral ( $\alpha$ ).

En el momento de priorizar los proyectos, se tomará el valor esperado del Valor Actual Neto Financiero ( $E(VAN_F)$ ), en la situación en que ambos proyectos aporten  $E(VAN_F)$  la prioridad la determina el nivel de riesgo de cada proyecto.

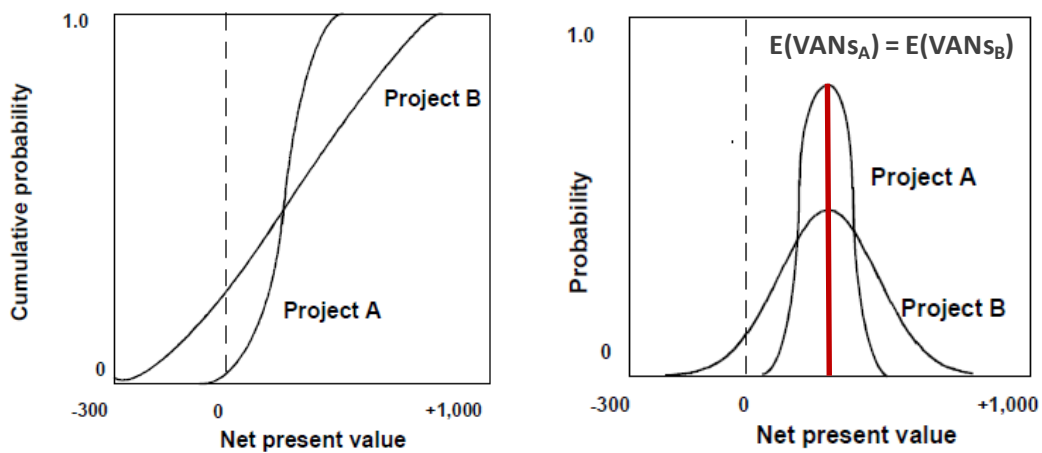


Figura 28. Ejemplo de dos proyectos con igual  $E(VAN_F)$ . Fuente: SAIT (2015).

## **7.2. Railway Project Appraisal Guidelines (RAILPAG)**

Según el European Investment Bank, (2005) el RAILPAG fue concebido para cubrir la necesidad de tener lineamientos uniformes dentro del ámbito europeo en el sector de ferrocarriles, esto debido a que los manuales actuales se encuentran enfocados en las necesidades internas del país que lo desarrollo, sumando a su desactualización. Esta desactualización es a nivel comportamiento del sector, no adaptadas al contexto actual de liberación, separación de infraestructuras y operaciones, así como la integración a nivel europeo de los ferrocarriles.

De igual manera el European Investment Bank (2005) menciona que el RAILPAG tiene como objetivo principal la mejora de los estudios de factibilidad de proyectos ferroviarios con diferentes alternativas, pero de igual manera puede utilizarse para planificación multimodal y programación. El RAILPAG se basa en las directrices de la Evaluación de Necesidades de Infraestructura de Transporte (TINA por sus siglas en ingles), proporcionando los elementos a considerar para la valoración de infraestructura de transporte.

### **7.2.1. Evaluación de proyectos ferroviarios**

#### *7.2.1.1. Proceso de Selección*

Es conveniente realizar un proceso de selección antes del análisis de pre-factibilidad y factibilidad de proyectos específicos. Así mismo el European Investment Bank (2005) menciona las adaptaciones que se realizan al listado de revisión del TINA para los proyectos ferroviarios en el proceso de selección:

- Verificar que cada proyecto este adecuadamente definido.

- Identificar el desempeño general de cada proyecto y clasificándolos en relación con un pequeño número de indicadores clave.
- En los proyectos impulsados por la demanda, se tiene que asegurar que el usuario perciba los beneficios del proyecto, de lo contrario no se afectara su comportamiento y los beneficios económicos serán nulos. Los proyectos que no puedan lograr esto deben de ser cuestionados.
- Asegurar que los beneficios creados por el proyecto no sean dependientes de proyectos complementarios, al existir dependencia debe estar claro si los proyectos vinculados se deben tomar como parte de la inversión.
- Valorar si existen barreras físicas para la implementación del proyecto.

#### 7.2.1.2. *Establecimiento del contexto de evaluación*

Según European Investment Bank (2005), a pesar de que el TINA no le da un gran peso al contexto de evaluación, en el ferrocarril se debe de tomar en cuenta debido a su limitada cuota de mercado y a que está pasando por cambios importantes:

- Aspectos económicos, políticos y sociales
- Aspectos tecnológicos
- Aspectos normativos
- Desarrollo del sector transporte en sus diferentes modos

#### 7.2.1.3. *Predicción del tráfico*

Sobre la predicción del tráfico, el European Investment Bank (2005) menciona que no basta indicar los flujos de tráfico debido al impacto de la nueva inversión en la elección modal por lo que estos efectos deben ser identificados. Usar modelos de demanda según el tipo de proyecto.

#### 7.2.1.4. *Definición de alternativas*

Según el European Investment Bank (2005) la finalidad de un nuevo proyecto de transporte es resolver un problema específico mejorando el sistema, como respuesta a las peticiones políticas o sociales. Para los proyectos de pequeña envergadura las decisiones son menos desarrolladas para alcanzar el objetivo. Por otro lado, en los de mayor envergadura se deben contemplar los efectos de los diferentes modos de transporte en el proyecto, para de esta manera encontrar una alternativa o un conjunto de ellas para encontrar la solución óptima.

Así también propone, la "alternativas del menor esfuerzo" (*do-minimum alternatives*), el hacer lo mínimo (*do-minimum*) es la menor inversión y mantenimiento para tener en funcionamiento el sistema, sin gran cambio en el servicio prestado. También menciona, el "no hacer nada" (*do-nothing*), siendo en este caso incompatible con el funcionamiento de la red existente.

#### 7.2.1.5. *Aspectos medioambientales, sociales y de cohesión*

El European Investment Bank (2005) menciona que la política de la Unión Europea (UE) es el impulso de los ferrocarriles para la distribución más equilibrada de un sistema de transporte europeo que se encuentra dominada en tierra por el automóvil (carreteras) y por los aviones. Este impulso se debe a las ventajas (menor impacto ambiental) que ofrece el ferrocarril al medio ambiente, además de una menor ocupación de espacio. Estos impactos ambientales deben tomarse en consideración durante la evaluación del proyecto, desde la etapa de construcción hasta la operación. Los costes de las medidas de amortiguamiento ambiental deben formar parte de los costes del proyecto, por lo que la valoración debe considerar los impactos subsistentes posteriores a la implementación de dichas medidas.

Sobre las externalidades el European Investment Bank (2005) menciona la dificultad para cuantificarlas, pero se debe de tener cuidado con hacer una doble consideración de estas y sus posibles efectos de distribución. Así mismo los proyectos ferroviarios pueden ser el inicio de un impacto social más amplio, al renovar la zona urbana cercana a sus estaciones. Sin olvidar del valor estratégico que implica la unión de las redes ferroviarias europeas para la integración de Europa.

#### 7.2.1.6. *La visión sistémica*

Para obtener un mejor rendimiento del sistema de transporte se debe ver como un sistema integrado, requiriendo un enfoque multimodal, por lo tanto, el European Investment Bank (2005) menciona la visión sistémica para tratarla.

- Sistema Integrado

Se debe tomar en consideración los elementos del sistema fuera del proyecto, dado a que podrían requerir operaciones fuera de los límites del proyecto, por lo que es necesario incorporar en la evaluación todas las inversiones que son necesarias para la correcta y exitosa ejecución del proyecto. Pero también conocer los beneficios que el proyecto puede aportar en otras partes de la red, otros sectores o produciendo otros tipos de servicio.

- Interoperabilidad

Es una medida introducida por la UE para eliminar las múltiples diferencias entre cada sistema ferroviario europeo que evita un funcionamiento eficiente dentro del sistema europeo. Debido a las posibles afectaciones de los costes de interoperabilidad es necesario identificarlas, ya que estos costes podrían estar generando beneficios para usuarios y operadores no incluidos en la definición del proyecto durante la evaluación.

- Efectos de red

Los efectos de una acción en una parte del sistema integrado de transporte pueden ser importantes en un lugar diferente, el sistema ferroviario es extremadamente sensible a estos efectos. Por tanto, su identificación y cuantificación deben ser clara, bajo correctas herramientas de modelado.

## **7.2.2. Análisis financieros y económicos**

### *7.2.2.1. El análisis financiero*

Como menciona el European Investment Bank (2005), el análisis financiero en el TINA es la representación de los impactos de flujo de efectivo del proyecto sobre las organizaciones afectadas por el proyecto, incluyendo:

- Costes de inversión financiera
- Mantenimiento de la infraestructura financiera y costes de operación
- Costes de operación de vehículos
- Ganancias para los operadores de infraestructura y servicios

Así también:

- Impuestos
- Costes de explotación
- Ingresos

### *7.2.2.2. Análisis coste-beneficio*

Para el European Investment Bank (2005), el realizar un análisis económico tiene como objetivo valorar el bienestar económico de una región. Con el ACB se pretende identificar el impacto del proyecto en la sociedad, esto se logra generalmente mediante un valor (TIR, VAN) que proporciona la viabilidad del proyecto. En figura 29 se ilustra el proceso de ACB.

Dentro del análisis económico se debe considerar:

- Costes de inversión; Costes de mantenimiento y operación de la infraestructura; Costes de Operación del Vehículo; Tiempo de viaje; Seguridad; Externalidades

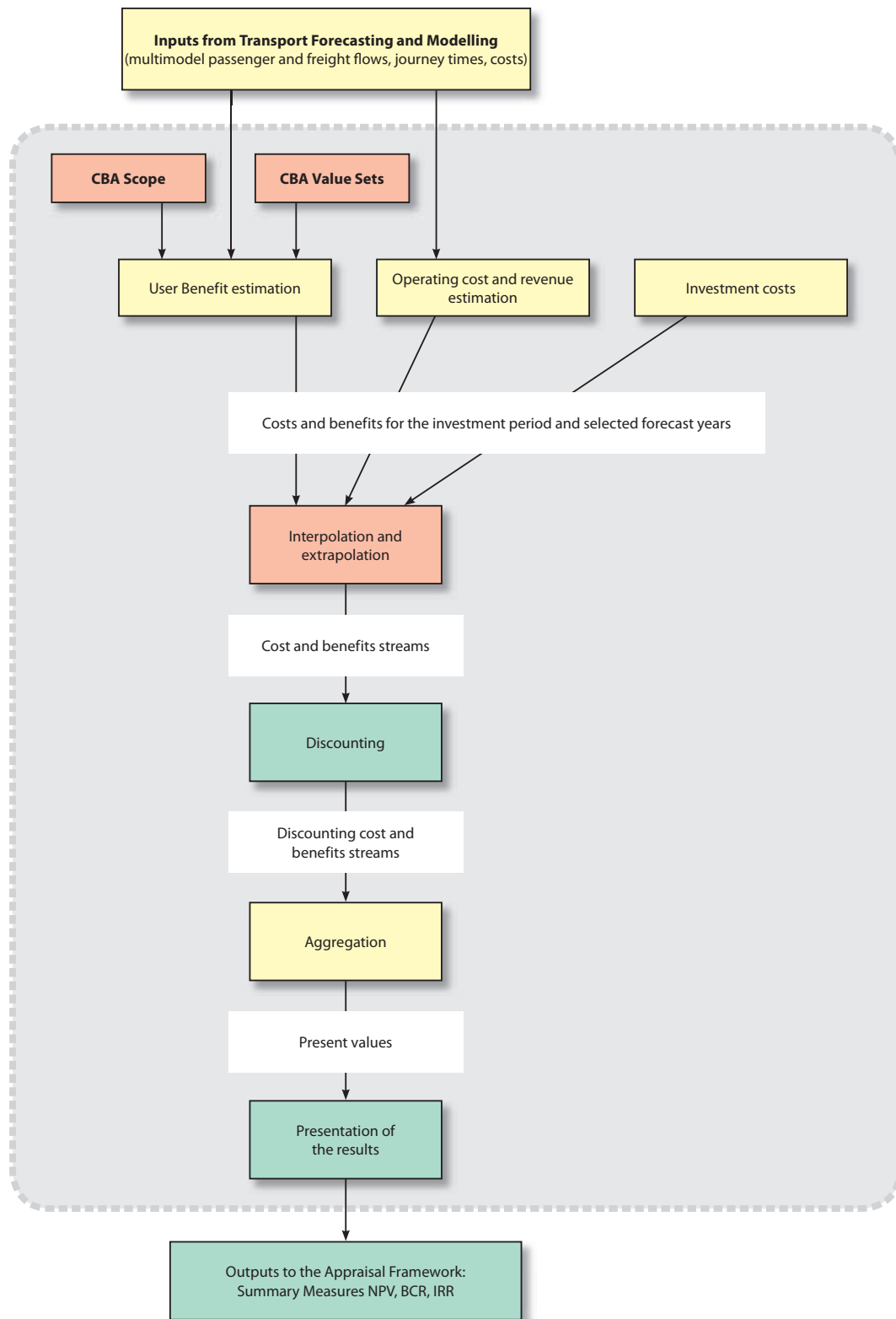


Figura 29. Proceso del ACB. Fuente: European Investment Bank (2005)



- Beneficios para los usuarios y operadores

El European Investment Bank (2005) menciona que el objetivo principal del ACB es la estimación de los beneficios para el usuario, pueden ser ahorros de tiempo y dinero que son fundamentales para la valoración económica del proyecto. Son tres conceptos los principales para la definir los beneficios a los usuarios del proyecto en el ACB:

- Coste generalizado: representación monetaria de los inconvenientes de viajar a un destino particular.
- Disposición de pago: Es el coste generalizado máximo que un usuario está dispuesto a pagar a su destino.
- Excedente del consumidor: El exceso de disposición del consumidor a pagar sobre el coste generalizado real de su viaje.

El excedente del consumidor se vuelve la medida básica del beneficio al existir un cambio en el transporte, de esta manera, se estima el volumen de viaje y costes generalizados por modo de transporte y categoría de viaje en origen/destino, de esta manera se puede obtener los beneficios totales del usuario según su origen/destino.

- Beneficios para varios tipos de tráfico:

El European Investment Bank (2005) menciona que en los proyectos ferroviarios generalmente se miden en tres categorías de tráfico:

- Tráfico existente: Se valoran los beneficios para los usuarios de transporte existentes.
- Tráfico desviado: Se estiman los efectos sobre los nuevos usuarios del sistema ferroviario desviados de otro sistema de transporte, comparando los costes antes y después del proyecto.

- Tráfico generado: La estimación de nuevos usuarios debido a la inversión en infraestructura es la mitad de los existentes.
- Tasa de descuento

El European Investment Bank (2005) menciona que las tasas de descuento y los indicadores de rentabilidad utilizados en los ACB del sector transporte, deben ser los mismo independientemente del tipo de proyecto. La tasa de descuento es el reflejo de la “preferencia por el presente” de los actores económicos. Su valor como criterio sirve para seleccionar o aceptar proyectos, así también puede reflejar la situación económica y presupuestal de la administración pública.

Una tasa de descuento alta favorece la aceptación de un proyecto con una menor inversión o concentración de beneficios a corto plazo, mientras que las bajas favorecerán proyectos con beneficios a largo plazo. Los valores de las tasas de descuento en países desarrollados están dentro del rango de 2,5% - 8%. Se pueden utilizar tasas de descuento hiperbólicas, que van disminuyendo conforme el tiempo, claramente especificados y justificados.

### **7.2.3. Funcionamiento RAILPAG**

#### *7.2.3.1. Conceptos generales*

El European Investment Bank (2005) menciona que el RAILPAG mantiene un enfoque riguroso en los factores técnicos del sector, pero a la vez facilita la toma de decisiones, mediante el entendimiento de los efectos del proyecto, el proceso consta de tres fases:

- Primera fase: Definir la problemática y elegir alternativas razonables.

- Segunda fase: Análisis exhaustivo de las alternativas, mediante estudios de demanda, efectos distributivos del proyecto, así como una matriz SE (Agente/Impacto) por cada alternativa.
- Tercera fase: Analizar y comparar cada alternativa.

Definir los objetivos del proyecto y sus alternativas multimodales es una primera parte. Una segunda parte requiere la elaboración del ACB según las indicaciones del TINA.

### 7.2.3.2. Aspectos distributivos

Según el European Investment Bank (2005) el RAILPAG utiliza un código de colores para facilitar al tomador de decisiones los aspectos cualitativos, que son difíciles de convertir a un término monetario, no incluidos en el análisis de flujos de caja. La valoración subjetiva de estos impactos de no directa monetización se realiza a través del VAN total para los agentes y sus efectos. Para estos efectos cualitativos se recomienda estimarlos en el ACB y luego dependiendo del tipo de efecto añadirlos (o sustraerlos) de los beneficios totales para llegar a la mínima Tasa Económica de Retorno (ERR por sus siglas en inglés) deseable para el proyecto. El ERR es un buen indicador para un aceptable coste total de no directa monetización y beneficios.

La matriz SE:

- Proporciona información valiosa en sus celdas sobre las relaciones Agentes-Efectos individuales
- El total en filas y columnas identifican la importancia relativa de cada tipo de efecto (financiero o económico) y el impacto relativo del proyecto en cada agente, permitiendo analizar sus aspectos distributivos
- Los indicadores estándar (VAN, ERR, B/C) y el código de colores dan una evaluación de la rentabilidad global

- La referencia que dan para incluir en la evaluación los impactos de no directa monetización que puedan afectar la viabilidad del proyecto.

El agregar a los aspectos socioeconómicos y financieros, ayuda a una evaluación integral de las cualidades del proyecto, también ayuda a comprender los efectos de redistribución que son importantes en la Participación Pública-Privada, en donde es de gran importancia la correcta distribución de riesgos y recompensas.

#### 7.2.3.3. *Analizando las alternativas*

Para el European Investment Bank (2005) el analizar las alternativas tiene como finalidad ver las implicaciones socioeconómicas y financieras, una problemática puede ser que la mejor alternativa socioeconómica tenga dificultades financieras, lo que podría implicar un cambio en la clasificación de alternativas o hasta la eliminación de opciones que no cumplan con algún termino. Pero para la mayoría de los casos se elegirá la mejor opción o un grupo de alternativas donde se tendría que realizar un análisis más detallado de compensaciones entre Agentes/Efectos, es recomendable dar una explicación de la motivación detrás de la alternativa seleccionada.

La figura 30 muestra el proceso de tres fases para la evaluación de proyectos del RAILPAG.

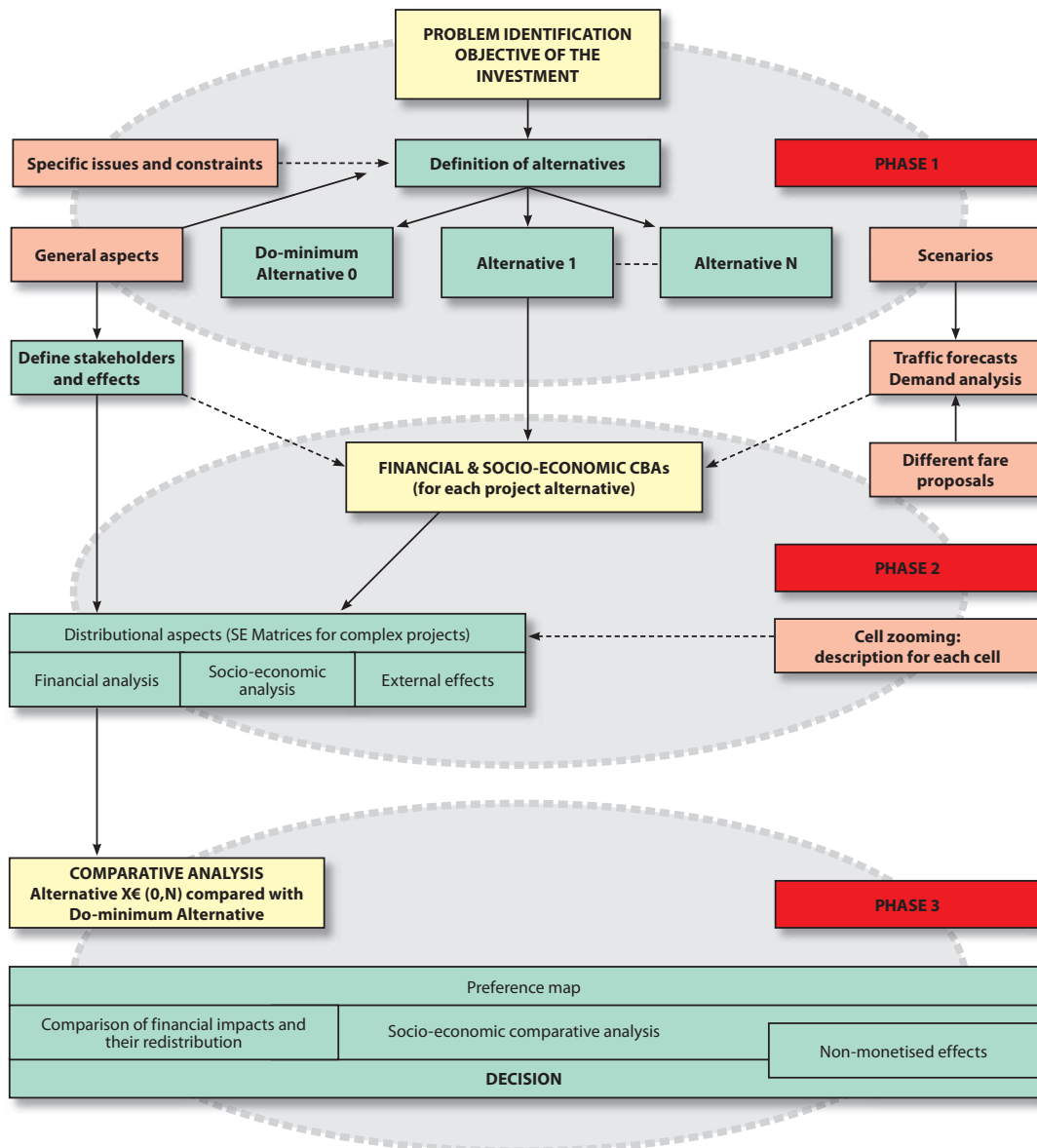


Figura 30. Proceso de evaluación del RAILPAG. Fuente: European Investment Bank (2005)

### 7.3. Public Sector Comparator

Antes de tomar la ruta Asociación Público Privada (APP) en un proyecto o de contratación pública tradicional, la administración pública debe estar

segura que esta opción es la que dará una mayor relación calidad-precio y una herramienta para esto es el Public Sector Comparator (PSC).

Para Grimsey & Lewis (2004) el PSC es un punto de referencia hipotético que se construye para comparar el potencial en la relación calidad-precio de un proyecto mediante la contratación pública tradicional o una APP.

En la figura 31 se describe el proceso del PSC que comprende de dos etapas, en la primera se calcula un coste hipotético ajustado por riesgo para proporcionar el servicio mediante la contratación pública tradicional, la segunda etapa es el mismo cálculo mediante la ruta APP. Luego se comparan los costes, eligiendo la opción con una mejor relación calidad-precio. La comparación entre ambos modelos de proyecto es mediante su Valor Actual Neto (VAN o NPV en inglés), de esta manera se conoce su relación calidad-precio. Esto se logra asumiendo que todas las variables son iguales.

Cuando el VAN del sector privado es menor a los costes de la administración pública se dice que hay una relación calidad-precio.

De la figura 31 se describe:

- Coste Base o Bruto: Estimación del sector público de los gastos para construir y mantener la infraestructura para suministrar el servicio de acuerdo al nivel de calidad requerido durante la vida útil del proyecto.

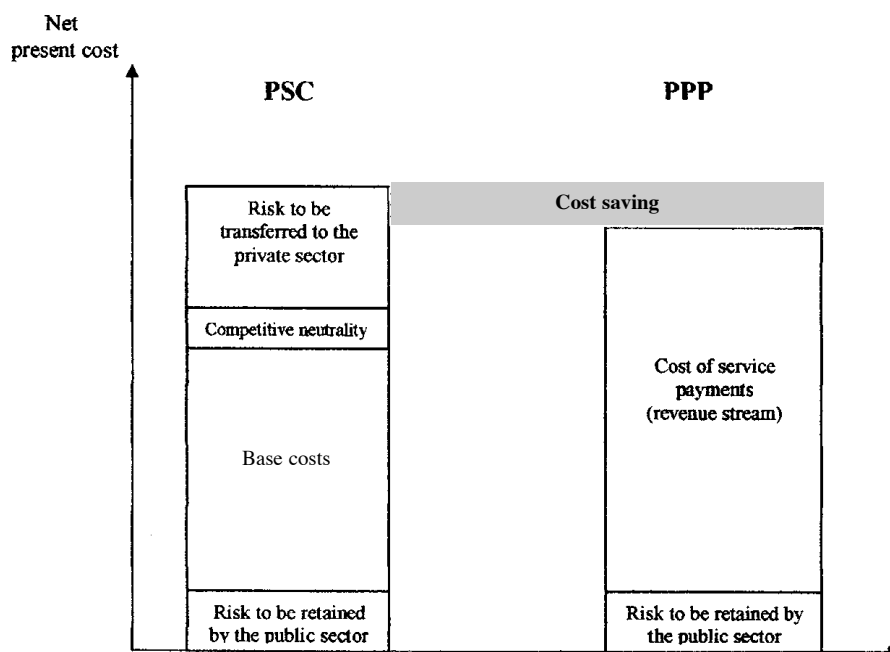


Figura 31. Comparación de proyectos en el PSC. Fuente: Grimsey & Lewis (2004).

- **Riesgo Retenido:** Son los que por su naturaleza los debe soportar la administración pública, por ejemplo, cambio de leyes o reglamentos en vigor, el riesgo de la demanda en servicios en donde no existe una tarifa al usuario. Por lo regular el coste del riesgo conservado es igual para la administración pública y para el sector privado.
- **Ajuste de Riesgo:** Este ajuste se realiza cuando existe la probabilidad de un incremento del coste para suministrar un servicio según el coste base, debido al aumento en el coste de materiales o problemas técnicos. El precio puede no modificarse, pero solamente al reducir el nivel de calidad del servicio.
- **Neutralidad Competitiva:** Ajuste que se realiza para hacer notar la neutralidad del PSC con la propuesta del sector privado, así también, asegura que la propuesta del sector privado no tenga preferencia debido a mecanismos de redistribución u otras disposiciones normativas que afecten al sector privado o administración pública. El PSC debe incorporar los impuestos locales y estatales, gravámenes o

cualquier otro cargo económico que deben ser pagado por el sector privado.

Según Grimsey & Lewis (2004), el PSC es una herramienta eficaz, pero a la vez mucho más complicada y menos precisa, al tener un gran número de suposiciones en comparación de las enfocadas en costes financieros. El VAN por lo tanto pueden estar muy cercano a su valor real, pero se tiene el riesgo de la existencia de un cambio en las hipótesis, afecte los cálculos del VAN y con esto la preferencia hacia la PPP sea a favor o en contra. Con el PSC se puede saber si la administración pública tuvo ahorro en costes y alcanzo a obtener una relación calidad-precio.

El PSC calcula los costes internos de operación, que hacen la función de punto de referencia para comparar opciones. Generalmente el PSC para el coste base utiliza un histórico ajustado y normalizado de los costes de los servicios que la administración pública suministra. Por lo tanto, el PSC, es una referencia que representa un proyecto hipotético mediante la contratación pública tradicional para, de esta manera, decidir si utilizarla de esa manera o tomar la ruta APP para la prestación de un servicio.

### **7.3.1. Consideraciones sobre el PSC**

Según el HM Treasury (2003) la administración pública debe tener una rigurosa selección para garantizar la creación de una relación calidad-precio, pero a su vez enfatiza en los peligros de darle un énfasis desproporcionado en la comparación de una sola figura como es el PSC. HM Treasury no le resta importancia al PSC, pero menciona que es mejor tenerlo como parte de un proceso de tres etapas y que necesita mejoras.

Según Grimsey & Lewis (2005), los números utilizados para el cálculo del PSC deben ser realistas, pero obtenerlos es una actividad compleja y costosa, convirtiendo el cálculo en algo muy subjetivo y manipulable. Sin



embargo, si el PSC forma la base del presupuesto del proyecto, entonces no es de interés para la administración pública subestimar los montos involucrados. Para lograr que las hipótesis sustenten las proyecciones, se deben basar en especificaciones de salida del servicio, de esta manera los costes e ingresos podrán tomarse como referencia.

Los autores mencionan que el PSC se puede considerar como, sin llegar a ser completamente, un ACB que compara todas las opciones y un proceso que permite en una licitación lograr una relación calidad-precio. También hacen notar que la comparación entre el PSC y una oferta del sector privado no es una comparación similar, la primera es una declaración de estimaciones de costes teóricos mediante una ruta de contratación pública tradicional, mientras que la segunda es una oferta firme contractual mediante la ruta APP. Por lo que existe un mayor riesgo en el precio de la APP, que no se ajusta al riesgo hipotético del PSC que no está garantizado, el cual no se contabiliza y subestima su VAN.

También mencionan la evaluación parcial del PSC, dado a que la relación calidad-precio se proyecta en un punto determinado, mientras que en la realidad el proyecto tendrá una vida contractual de 20-30 años, tiempo en el que muchos costes pueden variar a los proyectados por el PSC. Por lo regular existe la expectativa de la creación de una mayor relación calidad-precio mediante la propuesta del sector privado. Los autores mencionan que la administración pública debe suministrar servicios cuando es mejor que el sector privado para hacerlo, pero dejar de suministrar cuando el sector privado es mejor.

### **7.3.2. Criticas al PSC**

Grimsey & Lewis (2005) y OECD (2008) citan a varios autores quienes han realizado investigaciones sobre el PSC, cuestionando los resultados de la metodología.

Los autores mencionan que el decir que existe una relación calidad-precio, se remite a comparar dos grandes cantidades de Costes Actuales Netos, por lo general con una diferencia minúscula y el resultado es ligado a los cálculos de transferencia de riesgo en el PSC. Hay que recordar que todo cálculo realizado es supuesto, por lo que puede afectar la transferencia de riesgo que se realiza al sector privado, que es elemento crucial para comprobar la relación calidad-precio.

Sobre la metodología de la tasa de descuento mencionan que es deficiente, no proporciona la medida de preferencia del tiempo para la sociedad. Debido a que esta tasa se encuentra dentro de los cálculos del VAN, puede afectar el resultado de que propuesta tiene una mayor relación calidad-precio.

Aunque la transferencia de riesgo al sector privado puede ser muy grande, las más importantes recaen en la administración pública, y por lo tanto los costes caen en la sociedad. Aquí el problema es la incertidumbre que complica el cálculo de riesgo. Con los contratos de larga duración, las evaluaciones financieras de costes, tasas de descuento y asignación de riesgo no son suficientes para concluir si un proyecto debe ser o no PPP.

# **8. CAPÍTULO 8: Programación lineal en relación con la eficiencia, el análisis envolvente de datos y el problema de la dieta.**

## **8.1. Relación Calidad-Precio**

La relación calidad-precio según Martin (2013) es “la combinación óptima entre el coste del ciclo de vida y la calidad (o características según el propósito) del bien o servicio para satisfacer las necesidades del usuario”. Según los autores Burger & Hawkesworth (2011), el concepto relación calidad-precio contiene aspectos tanto cualitativos como cuantitativos de lo que la administración pública califica como óptimo de cantidad, calidad, características y costes, durante la vida útil del proyecto.

La relación calidad-precio puede definirse ampliamente como lo que un gobierno juzga como una combinación óptima de cantidad, calidad, características y precio (es decir, coste), esperado (a veces, pero no siempre, calculado) durante toda la vida útil del proyecto. Diamond (2005) menciona que el concepto relación calidad-precio se basa en tres elementos básicos: Economía, Eficiencia y Eficacia. Con economía se refiere a la reducción del coste de los insumos, mientras que a la eficiencia es la maximización de los productos para un conjunto dado de insumos. Para que exista dicha relación calidad-precio estos elementos se relacionan

entre sí para mostrar eficacia en el proyecto siendo técnicamente y económicamente eficientes.

Diamond (2005) menciona que puede haber varias formas en las que la eficiencia esperada no se cumple por lo que es importante identificar la fuente para llegar a una solución eficiente:

- **Técnicamente Ineficiente:** Se deriva de la mala implementación técnica de recursos para producir un producto o servicio. Por el contrario, la eficiencia técnica implica que es imposible reducir la cantidad de recursos empleados sin esperar una reducción del producto. La incapacidad para obtener la máxima cantidad de productos con cierto número de recursos es definida como ineficiencia y debe resolverse mejorando y cambiando el funcionamiento interno de las organizaciones y unidades que las componen.
- **Económicamente Ineficiente:** Se deriva de la utilización de los recursos, de manera que un mayor rendimiento en forma de suministro de servicio se puede obtener sin incrementar los costes, cambiando los gastos por recursos. La eficiencia económica, implica que es imposible la sustitución de un recurso sin aumentar los costes totales de un producto o nivel de servicio.
- **Técnicamente Ineficaz:** Aunque los recursos son utilizados de la mejor manera (tanto técnicamente como económicamente) para el suministro de un servicio, el servicio en sí no satisface los requerimientos esperados.
- **Económicamente Ineficaz:** Los gastos pueden ser eficientes y efectivos, de manera que los recursos son utilizados para generar la cantidad máxima de productos al menor coste con el resultado (producto o servicio) deseado. Sin embargo, la eficacia general en el uso de recursos públicos podría incrementarse, reduciendo gastos y reasignando recursos a otros servicios, es decir, siendo más efectivos.

En la Figura 32, se muestra una curva HH' que representa las diversas combinaciones de mano de obra e insumos para la producción de un servicio de salud. La recta AB representa el presupuesto disponible para la compra de las unidades de este servicio, el eje de las ordenadas representa las unidades de mano de obra, y el eje de las abscisas representa las unidades de otros insumos. La pendiente de la recta AB es el reflejo de los precios relativos de mano de obra y otros insumos.

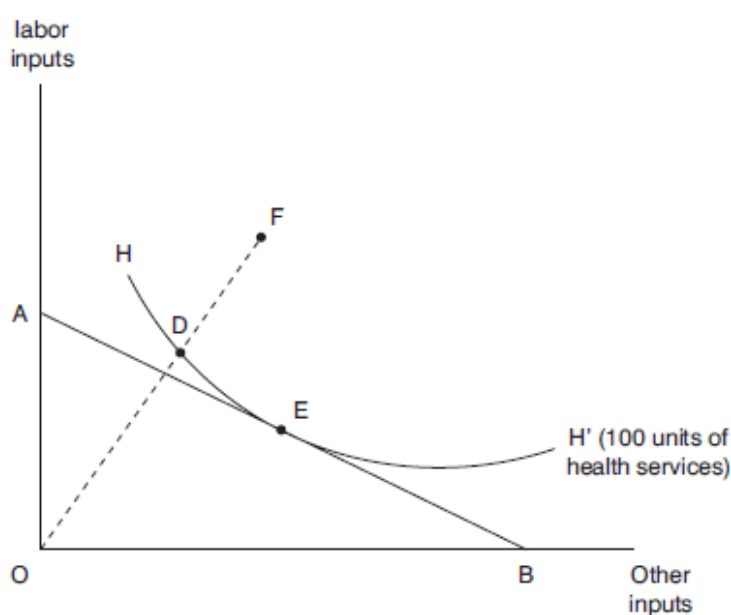


Figura 32. Eficiencia técnica y económica. Fuente: Diamond (2005).

Entonces, si la prestación de servicios funciona en el punto F, es técnicamente ineficiente. Los puntos por encima de HH' utilizan más insumos del necesario. Sin embargo, aunque en el punto D la prestación de servicios es técnicamente eficiente, no es económicamente eficiente, pudiendo reducirse los costes al reasignar la combinación de mano de obra y otros insumos para llegar al punto E. De esta manera, se logra la entrega de un servicio de salud con la misma calidad de servicio pero con menores costes de mano de obra e insumos.

Burger & Hawkesworth (2011) mencionan que a partir de tres componentes (economía, eficiencia y eficacia), la relación calidad-precio se define como la maximización de los resultados, (producto o servicio) con respecto al gasto en insumos. Esto se puede lograr solamente si los resultados - eficacia- (productos y servicios), se maximizan con respecto a los insumos - eficiencia- que a su vez se maximiza con respecto al gasto en insumos - economía-.

Definir la relación calidad-precio por el gasto (euro, dólar, etc) en insumos, solamente hace referencia a la eficiencia y eficacia por parte de la oferta, sin tomar en cuenta a la demanda. La eficiencia por parte de la demanda es más conocida por ser de asignación o Pareto, siendo más difícil de medir, pero es clave para conocer si el servicio realmente muestra una relación calidad-precio. Burger & Hawkesworth (2011) también hacen una pregunta ¿relación calidad-precio para quién?, a la cual responden al usuario final o los contribuyentes y no al gobierno como mencionan algunos otros autores.

Al referirse a la eficiencia de la demanda como asignada o de Pareto, se hace referencia al poder adquisitivo de los usuarios para obtener el mayor provecho del servicio, considerando solamente el bienestar de los usuarios del servicio. Esta mejora en una eficiencia asignada se logra mejorando el bienestar del usuario sin degradar el bienestar de otros. Esto se logra mediante la reasignación del gasto en servicios con la finalidad de suministrar la cantidad y calidad de los diferentes tipos de servicios (con las características deseadas) que maximicen el bienestar. Cuando ya no se puede reasignar recursos sin provocar un deterioro de otro usuario, se dice que la asignación de recursos es eficiente.

El bienestar que se refleja, por parte de los usuarios, en el uso de los servicios puede ocasionar dificultades. En un mercado de bienes y servicios

privados, el bienestar se puede medir mediante la demanda del usuario por un bien o servicio. Por el contrario, los bienes y servicios proporcionados por la administración pública, sufren problemas de medición al no poder contabilizarse correctamente la demanda, por lo que no se maximiza el bienestar proporcionado por el bien o servicio, pudiendo existir una buena valoración de los usuarios que acceden a la infraestructura, pero siempre existirá el usuario que no la realiza por alguna otra cuestión.

Es posible que el servicio sea eficiente, alcanzando las metas de rendimiento y resultado, pero no sea prioritario para la sociedad, por lo tanto, esta no desea asignarle recursos. De esta manera, este servicio pasa a ser ineficaz, a pesar de ser eficiente y eficaz por parte de la oferta, por su inexistente o limitada relación calidad-precio, resultado de su deficiencia en su demanda. Esta situación se agrava por las limitaciones presupuestarias de la administración pública, la cual tiene que establecer prioridades, para obtener una mejora de beneficios y bienestar en sus diferentes programas.

La eficiencia asignada o de Pareto depende de la demanda, la cual a su vez es parte del reflejo de la calidad de vida (bienestar e ingresos). En caso de que la administración pública tenga objetivos redistributivos, afectará indirectamente la eficiencia asignada de sus programas y, por lo tanto, hará aún más difícil la decisión sobre lo que constituye la relación calidad-precio.

El procedimiento para la evaluación de los proyectos bajo estos esquemas es un análisis de calidad-precio que según Peng et al. (2014) implica:

- Una evaluación cuantitativa para poder comparar los impactos financieros de las alternativas de adquisición de un proyecto.
- Análisis financiero.

- Impacto en el balance de la entidad adjudicadora.
- Otros beneficios para el usuario final que se consideran en la evaluación cualitativa.

Los autores mencionan que la relación calidad-precio a menudo se traduce como un ahorro financiero. El concepto de relación calidad-precio no es algo completamente cuantitativo, sino que por las diferentes dificultades para su medición tiene una parte cualitativa que tiene un peso muy significativo para el juicio de la existencia de la relación calidad-precio por parte de la administración pública.

## **8.2. Eficiencia**

### **8.2.1. Valoración de la Eficiencia**

En su investigación, Farrell (1957), identificó dos componentes de eficiencia: la eficiencia técnica (ET) es la maximización del producto para un conjunto dado de insumos, y una eficiencia de precios que refleja el uso de insumos asignados en proporciones óptimas, logra la eficiencia de asignación (EA). Al ser logradas ambas eficiencias se genera una eficiencia económica.

### **8.2.2. Valoración Orientada a los Insumos**

Coelli (1996) en su trabajo continuando la investigación de Farrell (1957), menciona que este último ilustra de buena manera sus ideas con un simple ejemplo de cómo una entidad utiliza dos insumos ( $X_1$  y  $X_2$ ) para producir un único producto ( $Y$ ), suponiendo los rendimientos constantes de escala. En la figura 33 se muestra la frontera de eficiencia representado por la curva  $SS'$ .



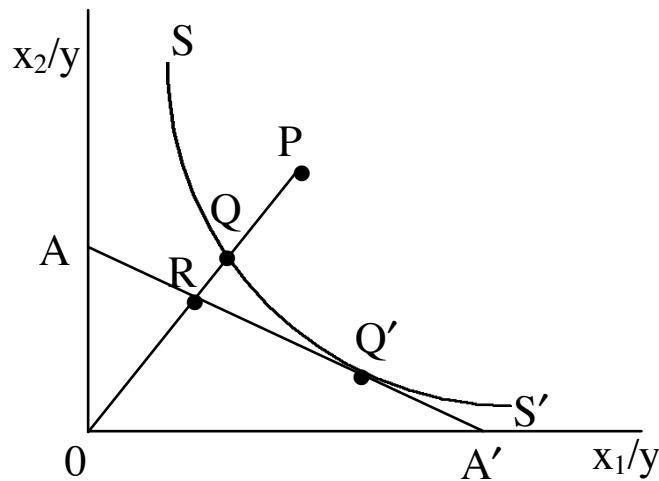


Figura 33. Eficiencia técnica y asignada orientada al insumo Fuente: Coelli (1996)

El punto P es la cantidad de insumos determinados por una entidad para una unidad de producción. La ineficiencia técnica de la entidad se representaría por la distancia QP, que es la posible reducción en la cantidad de insumos sin tener una reducción en la cantidad de producto. Esto se puede representar con la relación  $QP/OP$ , siendo este el porcentaje en el que todos los insumos pueden ser reducidos.

La eficiencia técnica orientada a los insumos ( $ET_I$ ) de una entidad puede ser valorada por la relación representada en la ecuación (5):

$$ET_I = \frac{OQ}{OP} = 1 - \frac{QP}{OP} \quad (5)$$

El valor numérico de la ET oscilará entre 0 y 1, proporcionando el nivel de eficiencia de la entidad. El valor de 1 significa que la entidad es completamente eficiente técnicamente. El punto Q de la figura 33 se encuentra sobre la frontera de eficiencia así que es técnicamente eficiente.

Si también se conoce el precio de la relación de los insumos, que se representa por la línea AA' de la figura 33, se puede conocer la eficiencia de asignación. La eficiencia de asignación orientada a los insumos (AE<sub>I</sub>) de una entidad en el punto P se puede definir por la relación representada en la ecuación (6):

$$AE_I = \frac{OR}{OQ} \quad (6)$$

En donde la distancia RQ representa la reducción en los costes de producción, que ocurriría en el punto Q' en el cual se alcanzaría la eficiencia técnica y de asignación, en lugar del punto Q donde sólo se alcanza la eficiencia técnica.

La eficiencia económica total orientada a los insumos (EE<sub>I</sub>) se define por la relación representada en la ecuación (7):

$$EE_I = \frac{OR}{OP} \quad (7)$$

En donde la distancia RP representa la reducción en los costes. El producto de la eficiencia técnica y la eficiencia de asignación es la eficiencia económica total, representada por la ecuación (8):

$$AE_I \times ET_I = \frac{OR}{OQ} \times \frac{OQ}{OP} = \frac{OR}{OP} = EE_I \quad (8)$$

### 8.2.3. Valoración Orientada al Producto

Coelli (1996) siguiendo con el trabajo de Farrell, para la valoración orientada al producto considera dos productos (Q1 y Q2) por unidad de insumo (X), como se puede ver en la figura 34. La curva ZZ' es la posibilidad de producción unitaria y el punto A una entidad ineficiente.

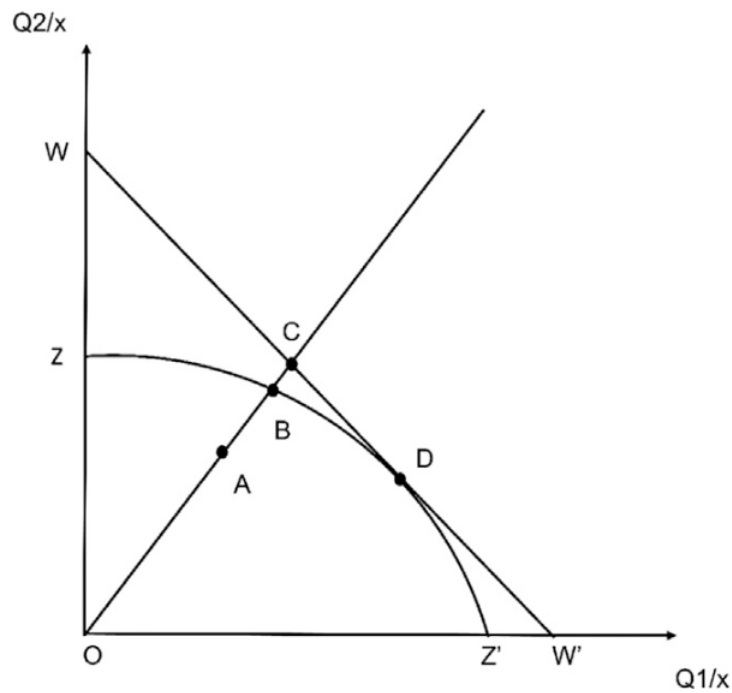


Figura 34. Eficiencia técnica y Asignada orientada al producto. Fuente: Coelli (1996).

La distancia AB representa la ineficiencia técnica, esto es la mejora en la producción sin incrementar las unidades de insumos. Una medida de eficiencia técnica orientada al producto ( $TE_0$ ) es la relación, representada por la ecuación (9):

$$TE_0 = \frac{OA}{OB} \quad (9)$$

En caso de conocer el precio se puede dibujar la línea WW' y definir la eficiencia asignada, representada por la ecuación (10):

$$AE_0 = \frac{OB}{OC} \quad (10)$$

La cual se puede interpretar como el aumento de los ingresos, similar a la reducción de costes en la ineficiencia de asignación orientada a los insumos. La eficiencia económica total del producto ( $EE_0$ ) puede definirse por el producto de ambas eficiencias, como se muestra en la ecuación (11).

(11)

$$AE_0 \times TE_0 = \frac{OA}{OB} \times \frac{OB}{OC} = \frac{OA}{OC} = EE_0$$

### **8.3. Análisis Envolverte de Datos**

Para Cooper et al. (2006) el nombre del Análisis Envolverte de Datos (Data Envelopment Analysis, DEA) proviene de su forma de “envolver” las variables a evaluar mediante una frontera que representa el desempeño de las entidades a evaluar. Es un método no-paramétrico de programación lineal. El DEA aprovecha las limitaciones de datos en toda su extensión y puede utilizarse para conocer la eficiencia técnica, la eficiencia de asignación y su escala de eficiencia.

En el trabajo de Charnes et al. (1978) basada en la investigación de Farrell, introducen el término “Unidad de Toma de Decisiones” (Decision Making Unit, DMU) como forma de envolver y evaluar un grupo de entidades que utilizan recursos similares para la realización de un producto similar. El resultado de estas evaluaciones es una puntuación de rendimiento que oscila entre cero y uno, la cual representa el “nivel de eficiencia” obtenido por cada entidad evaluada.

La entidad (o entidades) con la mayor eficiencia es considerada como la más eficiente en las circunstancias planteadas, además es la referencia en la evaluación de las diferentes entidades dentro de la agrupación. La diferencia

entre la entidad con mayor eficiencia y las de menor eficiencia es el potencial de mejora bajo las condiciones de evaluación.

### 8.3.1. Rendimiento de Escala

Cooper et al. (2006) mencionan que el rendimiento de escala (Return To Scale, RTS) es la relación entre los insumos y productos cuando alguno ha cambiado. En términos económicos se hace referencia a la elasticidad, centrándose en el incremento o disminución de las eficiencias basadas en su magnitud de cambio.

### 8.3.2. Modelo CCR

El modelo CCR propuesto por Charnes, Cooper y Rhodes en 1978, se basa en los rendimientos constantes de escala. Se asume que el conjunto de posibilidades de producción tiene la propiedad: si  $(x,y)$  es un punto factible, entonces  $(tx,ty)$  para cualquier punto positivo  $t$  es también factible. En la figura 35 se muestra una frontera de producción para un solo producto con un solo insumo. El resultado de su eficiencia se conoce como Eficiencia técnica global.

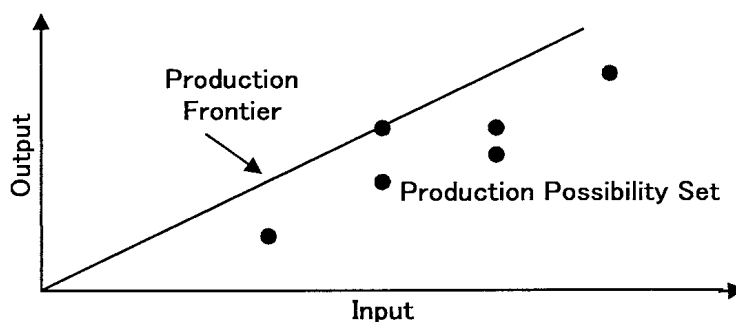


Figura 35. Frontera de producción de un Modelo CCR Fuente:Cooper et al. (2006).

### 8.3.3. Modelo BCC

El modelo BCC fue propuesto por Banker, Charnes y Cooper en 1984, tiene sus fronteras de producción en una curva convexa, como se puede ilustrar en la Figura 36:

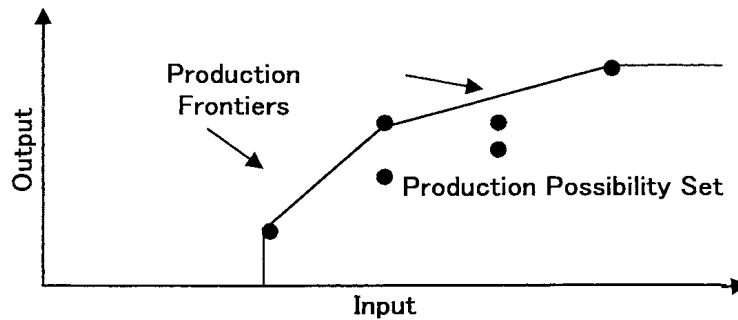


Figura 36. Frontera de producción de un Modelo BCC. Fuente: Cooper et al. (2006).

En el modelo BCC la frontera es variable, teniendo un Rendimiento Variable de Escala (Variable Return to Scale, VRS), como se muestra en la figura 36, el primer segmento de la curva se aprecia un rendimiento creciente de escala, siendo el segundo segmento un retorno decreciente y en el punto donde se une el primer y segundo segmento de la curva existe un rendimiento constante de escala. El resultado de su eficiencia se le conoce como Eficiencia técnica (pura) local.

### 8.4. La formulación dual del modelo CCR

Farrell (1957) define la eficiencia como lograr una mayor producción con un conjunto determinado de insumos, entonces, la productividad es la relación entre su producción y sus insumos, formulación (12).

$$Productividad = \frac{Productos}{Insumos} \quad (12)$$

La formulación fundamental DEA para el modelo CCR (13) propuesta por Charnes et al. (1978) es:

$$\max_{v,u} \theta = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m y_{mo}} \quad (13)$$

s.t.

$$\frac{u_1 y_{ij} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{ij} + \dots + v_m x_{mj}} \leq 1$$

$$u_1, u_2, \dots, u_m \geq 0$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0$$

Dados los datos, se mide la eficiencia de cada DMU una vez y, por lo tanto, se necesitarán n optimizaciones, una para cada DMU<sub>j</sub> a evaluar. Sea la DMU<sub>j</sub> que se va a evaluar en cualquier prueba se designe como DMU<sub>o</sub>, donde "o" oscila entre 1, 2, ..., n. La solución del problema de programación lineal obtiene los pesos de insumos ( $v_i$ )( $i=1, \dots, m$ ) y los pesos de productos ( $u_r$ )( $r=1, \dots, s$ ) como variables. Los datos de las cantidades de insumos y productos son las asignaciones de  $x_n$  y  $y_n$  ( $n=1, \dots, N$ ).

Las restricciones indican que la relación entre los insumos y productos no deben ser mayor a 1 para cada DMU, por tanto, el valor objetivo máximo de  $\theta$  es como máximo 1.

Dorfman et al. (1987) mencionan que los problemas matemáticos de programación lineal vienen en pares, refiriéndose a que cada modelo matemático de programación lineal tiene una versión dual. Charnes et al.

(1978) mencionan que el modelo CCR (13) tiene contraparte dual (14) para insumo:

$$\max \sum_{m=1}^M \mu_m y_{km} \quad (14)$$

s.t.

$$\sum_{n=1}^N \lambda_n x_{kn} = 1$$

$$\sum_{m=1}^M \mu_m y_{km} - \sum_{n=1}^N \lambda_n x_{kn} \leq 0$$

$$\mu_m \geq 0$$

$$\lambda_n \geq 0$$

Donde la  $DMU_k$  será evaluada donde los pesos de insumos ( $\mu_m$ ) ( $m=1, \dots, M$ ) y los pesos de los productos ( $\lambda_n$ ) ( $n=1, \dots, N$ ) son variables. Los datos de las cantidades de insumos y productos son las asignaciones de  $x_n$  y  $y_n$  ( $n=1, \dots, N$ ).

Dorfman et al. (1987) agregan, un problema económico puede ser formulado en una expresión de programación lineal, entonces un problema económico puede ser relacionado aun problema dual de programación lineal. La asignación de recursos y la fijación de precios son dos aspectos del mismo problema, así que si, la programación lineal resuelve el problema de asignación de recursos también lo hará con el problema de la fijación de precios. Shephard (2012) menciona que con las expresiones duales de la programación lineal se pueden encontrar los precios sombra.

Por lo que utilizando la ecuación fundamental del modelo CCR se puede estimar la frontera de eficiencia y obtener los precios sombra mediante la expresión dual de los impactos a evaluar. La expresión fundamental del DEA



es ampliamente utilizada, y se puede encontrar una vasta literatura sobre su uso en investigación de operaciones, ya que su uso se extendió y se consolidó para la obtención de la eficiencia, pero su expresión dual es poco utilizada hoy en día.

## 8.5. El problema de la dieta

El problema de la dieta, Stigler (1945), se formula como un problema de programación lineal donde el objetivo es minimizar el coste de una comida ofreciendo, al menos, la mínima cantidad de nutrientes pero sin exceder su consumo máximo diario, y considerando la cantidad mínima de porciones de comida, sin exceder las porciones máximas. Su formulación matemática (15) es:

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i \in F} c_i x_i && (15) \\ \text{s.t.} & && \\ & \sum_{i \in F} a_{ij} x_i \geq N_{\min j}, \forall j \in N && \\ & \sum_{i \in F} a_{ij} x_i \leq N_{\max j}, \forall j \in N && \\ & x_i \geq F_{\min i} \quad \forall i \in F && \\ & x_i \leq F_{\max i} \quad \forall i \in F && \end{aligned}$$

F = Conjunto de comida

N = Conjunto de nutrientes

Parámetros:

$a_{ij}$  = cantidad de nutrientes  $j$  en comida  $i$ ,  $\forall i \in F, \forall j \in N$

$c_i$  = coste de porciones de comida  $i$ ,  $\forall i \in F$

$F_{\min_i}$  = número mínimo de porciones de comida requerida  $i$ ,  $\forall i \in F$

$F_{\max_i}$  = número máximo permitido de porciones de comida  $i$ ,  $\forall i \in F$

$N_{\min_j}$  = nivel mínimo requerido de nutrientes  $j$ ,  $\forall j \in N$

$N_{\max_j}$  = nivel máximo permitido de nutrientes  $j$ ,  $\forall j \in N$

$x_i$  = número de porciones de comida  $i$  a consumir,  $\forall i \in F$

Stigler menciona que la diferencia entre la dieta encontrada mediante su formulación estriba en que no es la mejor en sabor en comparación a las diseñadas por profesionales de la nutrición. Sin embargo, estas últimas dietas cuestan al menos 3 veces más que la diseñada mediante su formulación.

## 8.6. Relación entre el problema de la dieta y el DEA

Como menciona Färe et al. (2011) el modelo DEA considera las decisiones por unidad de producción, las cuales son  $k = 1, \dots, K$  actividades con  $x = (x_1, \dots, x_N)$  y  $y = (y_1, \dots, y_M)$  elementos reales positivos para insumos y productos respectivamente. Los autores presentan el problema de la dieta en su modelo dual de programación lineal donde los elementos  $p$  y  $w$  son elementos positivos reales para precios de producción e insumos respectivamente. La formulación fundamental (16) o la dual (17) son:

$$\max_{x,y,z} py - wx \quad (16)$$

s.t

$$\begin{bmatrix} -X \\ Y \end{bmatrix} z \geq \begin{bmatrix} -x \\ y \end{bmatrix}$$

El lado izquierdo de la desigualdad corresponde a la tecnología abarcada por los vectores columna K, que nos indican la cantidad de la actividad K que participa en la formación de la tecnología. Entonces aquí X e Y son las matrices de entradas y salidas para las actividades K.

Su expresión dual es:

$$\max_{p,w} \sum_{m=1}^M p_m y_{k'm} - \sum_{n=1}^N w_n x_{k'n} \quad (17)$$

s.t.

$$\sum_{m=1}^M p_m y_{km} - \sum_{n=1}^N w_n x_{kn} \leq q_k$$

$$p_m, w_m \geq 0$$

Siendo  $q_k$  :

$$q_k = \sum_{m=1}^M p_m y_{k'm} - \sum_{n=1}^N w_n x_{k'n}$$

Representando la formulación en un problema Lagrangiano-Kuhn-Tucker donde X y Y son las matrices de insumos y productos, se obtiene (18):

$$\min_z v z + \lambda (Xz - Z^0) + \mu (y^0 - Yz) \quad (18)$$

Donde  $\lambda$  y  $\mu$  son los multiplicadores lagrangianos y  $v$  es el precio de la actividad, el cual tiene su formulación dual (19), como:

$$\min_z \mu y^0 - \lambda x^0 + (v + \lambda X - \mu Y)z \quad (19)$$

Haciendo lo mismo con la formulación del problema de la dieta se encuentra (20):

$$\max_{x,y,z} py - wx + \lambda(Xz - z) + \mu(y - Yz) \quad (20)$$

Comparando las últimas dos ecuaciones, el precio  $z$  en el DEA son los precios sombra en el problema de la dieta, y en este último, la optimización es de los precios sombra sobre los insumos y productos, de lo que se concluye que ambas formulaciones son duales, donde el problema de la dieta optimiza sobre precios y el DEA sobre cantidades.

## 8.7. Relación entre la función de coste y el DEA

La función coste formulado por Shephard (2016) como un problema de programación lineal es el siguiente, ecuación (21):

$$C(y^{k'}, w^{k'}) = \min_{z,x} \sum_{n=1}^N w_{kn} x_n \quad (21)$$

s.t.

$$\sum_{k=1}^K z_k y_{km} \geq y_{k'm} , m = 1 \dots M$$

$$\sum_{k=1}^K z_k x_{kn} \geq x_n , n = 1 \dots N$$

$$z_k \geq 0 , k = 1 \dots K$$

Para la  $DMU_{k'}$  ( $k'=1, \dots, n$ ) en donde  $w$  es el vector de los precios de insumos con  $w \geq 0$ , siendo el mínimo coste de producción de la unidad de producción

$k$  con los vectores de producción  $y^{k'}$  y vector de insumos  $w^{k'}$ , y  $z_k$  es el vector intensidad para dicha DMU.

Como se ha mencionado la función tiene su contraparte dual (22) la cual es:

$$\begin{aligned} & \max_{p,w} \sum_{m=1}^M p_m y_{k'm} & (22) \\ \text{s.t.} & \\ & \sum_{m=1}^M p_m y_{km} - \sum_{n=1}^N w_n x_{kn} \leq 0, k = 1 \dots K \\ & w_n \leq w_{k'n}, n = 1 \dots N \\ & p_m \geq 0, m = 1 \dots M \\ & w_m \geq 0, n = 1 \dots N \end{aligned}$$

Al multiplicar la desigualdad de precios, primera restricción, de la función de coste de Shepard por  $x_{k'n}$  y sumándolo sobre todas las unidades de producción  $N$ , entonces (23):

$$\sum_{n=1}^N w_n w x_{k'n} \leq \sum_{n=1}^N w_{k'n} x_{k'n} \quad (23)$$

Sustituyendo el lado izquierdo con  $\alpha_{k'}$  y normalizando el lado derecho se obtiene (24):

$$\sum_{n=1}^N \widehat{w}_n x_{k'n} \leq 1 \quad (24)$$

donde  $\widehat{w}_n = w_n / \alpha_{k'}$ , normalizando el precio sombra  $p_m$  por  $\alpha_{k'}$  se obtiene (25):

$$\alpha_{k'} \max_{\hat{p}, \hat{w}} \sum_{m=1}^M \hat{p}_m y_{k'm} \quad (25)$$

s.t.

$$\sum_{m=1}^M \hat{p}_m y_{km} - \sum_{n=1}^N \hat{w}_n x_{kn} \leq 0, k = 1 \dots K$$

$$\sum_{n=1}^N \hat{w}_n x_{kn} \leq 1$$

$$p_m \geq 0, m = 1 \dots M$$

$$w_n \geq 0, n = 1 \dots N$$

Los vectores  $p$  y  $w$  de precio sombra para insumos y productos de la ecuación (25), desempeñan el mismo papel que los precios sombra  $\mu$  y  $\lambda$  en la formulación dual del modelo DEA CCR (14), por lo que se puede decir que los dos modelos son equivalentes.

# **9. CAPÍTULO 9: Evaluación de proyectos de infraestructuras de transporte en dos etapas con impactos de no directa monetización**

## **9.1. Introducción**

Cuando se habla del objetivo de los proyectos de infraestructuras de transporte se asocia principalmente a la mejora de la operación dentro de la infraestructura, esto es, que los usuarios se desplacen de la mejor manera posible con una mejora en su tiempo de viaje, una mayor seguridad y comodidad. Sin embargo, debe de haber un equilibrio entre los aspectos económico, ambiental y social, por eso la importancia en la cuantificación de los impactos que genera una infraestructura de transporte.

Como se ha visto en capítulos anteriores existen tres tipos de impactos considerados en la evaluación de proyectos de infraestructura de transporte; los primeros, impactos de fácil cuantificación y asignados a un valor de mercado, como los costes de construcción y operación; los segundos, impactos que se han cuantificado y aceptado la asignación a un valor monetario, como las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por los vehículos; los terceros, impactos que aún no tienen una forma de cuantificarse o una asignación monetaria, como la equidad. Esto representa un problema en la

evaluación de proyectos de infraestructuras de transporte, ya que, al no poder considerarlas, no puede verse reflejado el beneficio real de la infraestructura.

Se ha mostrado el interés por los investigadores en la valoración de estos impactos, representando un reto, primero, tratando de cuantificarlos, y segundo, en llegar a un acuerdo para asignarles un valor de mercado. No solamente estamos frente a impactos ambientales sino, también, ante impactos sociales que aumentan tanto su dificultad para ser cuantificados como para asignarles un valor de mercado, lo que genera debate, porque si bien se han encontrado formas en las que se pueden cuantificar los alcances de estos impactos y algunos métodos han sido aceptados del todo, su asignación de valor de mercado sigue generando discusiones.

La mayor parte del capital para la creación de los proyectos de infraestructura viene del sector público, por lo que este debe tener en cuenta su capacidad presupuestaria, ya que se puede generar un sobregasto de las arcas públicas generando problemas financieros. Por tanto, la administración pública tiene que considerar sus objetivos y tener en cuenta sus limitaciones presupuestarias y seleccionar los proyectos con mayor rendimiento en su relación coste-beneficio.

Como se ha mencionado, la mayor herramienta para la evaluación de proyectos en infraestructura de transporte es el ACB, donde se enumeran todos los costes y beneficios del proyecto expresados en términos monetarios. El ACB tiene la finalidad de determinar la conveniencia de ejecutar el proyecto mediante el cálculo del beneficio neto del proyecto generado por la infraestructura para la sociedad en su conjunto y no solo para los usuarios de esta.

Existe la crítica sobre el uso del ACB como herramienta principal para la evaluación de proyectos, debido a que no considera costes o beneficios de difícil cuantificación o sin asignación de valor de mercado, los cuales



usualmente son de naturaleza social. En los últimos años se han tratado de incluir impactos de no directa monetización, pasando del ahorro en el tiempo de viaje, costes de construcción y operación, a la valoración de las emisiones generadas, accesibilidad o la equidad de las infraestructuras de transporte. Los costes y beneficios han progresado de ser impactos puramente económicos a impactos ambientales y sociales.

Estos impactos (costes y beneficios) tanto positivos como negativos ejercen una presión en el ambiente y en la sociedad, siendo necesario su inclusión en la evaluación de proyectos de infraestructuras de transporte, por lo que es importante evaluar las diferentes alternativas de proyecto para conocer sus beneficios con sus costes ambientales, económicos y sociales.

Una parte de los investigadores han limitado el tipo de impactos a evaluar mediante el ACB, proponiendo que estos impactos se realicen mediante otro tipo de análisis como el multicriterio, como se puede leer en los trabajos de Bristow & Nellthorp (2000 y Odgaard et al. (2005). Sin embargo, cabe recalcar que se están haciendo notar los esfuerzos para considerar impactos de no directa monetización en el ACB con ciertas limitaciones.

## **9.2. Propuesta para la evaluación de proyectos de infraestructuras de transporte con impactos de no directa monetización**

En la presente tesis se propone una alternativa híbrida entre el ACB y el DEA para la evaluación de proyectos de infraestructura de transporte en la que se considera los impactos de no directa monetización. Mientras que la mayoría de los impactos comúnmente considerados en el ACB tienen una mayor facilidad para cuantificarse y tienen un precio de mercado, los impactos de no directa monetización solamente son considerados si pueden cuantificarse y

asignarles un valor de mercado. Se ha trabajado en dichos impactos de no directa monetización para su cuantificación y monetización ya que no considerarlos puede conducir a una degradación en el beneficio de la sociedad.

El DEA es conocido por su análisis de eficiencia en el área de investigación de operaciones, pero se ha comenzado a utilizar en otras áreas. Existen trabajos en los que se ha utilizado como herramienta para la evaluación de proyectos, examinando las alternativas de proyecto mediante la inversión (insumos) y los impactos generados por cada alternativa de proyecto, sean positivos o negativos (productos), realizando la comparación entre alternativas de proyecto (DMU) para la obtención de su eficiencia.

Las propuestas de evaluación de las alternativas de proyecto utilizando el DEA como Womer et al. (2006), Tseng et al. (2008), Caulfield et al. (2013), Dai et al. (2021), Jafarzadeh et al. (2018), Zhang et al. (2019), Jiang et al. (2020) y Du et al. (2014) por mencionar algunos, siguen la perspectiva de la medición de la eficiencia de producción, además, consideran solamente los impactos habitualmente utilizados en el ACB con valores de mercado. En el inicio de la investigación de esta tesis se realizaron análisis de eficiencia en infraestructuras de transporte y evaluación de proyectos en su forma fundamental, centrándose en la producción de diversas infraestructuras de transporte por carretera.

Estas propuestas han demostrado que el DEA puede ser una herramienta que presenta valiosas aportaciones para la toma de decisiones al indicar qué alternativa de proyecto ofrece un mayor beneficio entre varias, y una herramienta en la que se puede analizar impactos sin un valor de mercado, mediante la ponderación de estos impactos. Además estas propuestas han explorado uno de los posibles usos del DEA en la evaluación de proyectos de infraestructura, sin salir de su metodología de la evaluación comparativa del rendimiento de unidades de producción.

El DEA puede complementar la evaluación de proyectos cuando existen impactos de no directa monetización. Fare et al. (1997) menciona que la valoración realizada por el DEA no depende de las preferencias de grupos de interés, ya que su valoración se centra en la asignación de precios que pueden favorecer a un proyecto. Además de obtener la eficiencia de cada alternativa de proyecto, podemos distribuir los recursos de la mejor manera cuando existen restricciones presupuestarias.

La metodología del DEA puede ajustarse a la metodología del ACB ya que, de esta manera, se podrían evaluar las alternativas de proyecto, identificando la alternativa que tenga un mayor aporte social. La metodología del DEA se emplearía en la comparación de alternativas para encontrar aquella alternativa que ofrece una mayor eficiencia, que sería aquella que ofrece un mayor beneficio a la sociedad en su conjunto, y a su vez una mejor distribución de los recursos.

Al realizar una equivalencia entre un DMU y una alternativa de proyecto, cada una tiene  $n$  entradas de insumos para generar sus  $n$  productos, del mismo modo en que el ACB tiene múltiples costes y beneficios. El DEA puede ayudar a estructurar el problema en la evaluación de proyectos, así como identificar los parámetros críticos que pueden ser útiles para el ACB. El DEA aborda la evaluación desde una perspectiva multidimensional como un MCA, así que el DEA ofrece una metodología que puede adaptarse a la del CBA.

Sin embargo, en la metodología DEA el "precio" asignado a los impactos son relativos (precios sombra). Para poder utilizar el DEA con el ACB necesitamos obtener precios absolutos que estén ligados a un valor monetario para conocer la rentabilidad de la alternativa evaluada en comparación con el resto. Por este motivo es importante la relación existente entre el DEA, la función coste y el problema de la dieta (véase el capítulo 8), para la obtención de

precios absolutos que pueden actualizar el VPN con los impactos de no directa monetización.

Como menciona el Manual del *Sistema d'Avaluació d'Inversions en Transport* (SAIT, 2015) , el ACB se realiza en tres fases, la primera es la definición del proyecto, la segunda es la evaluación de impactos y la tercera es la interpretación de resultados. Estas fases se dividen en los siguientes pasos:

1. Definir el problema, realizar un diagnóstico de la situación actual, plantear los objetivos, las diferentes alternativas de solución, a quien va dirigido y su periodo de actividad.
2. Identificar impactos y realizar el descuento de los flujos de impactos
3. Seleccionar la alternativa de proyecto en función de la relación coste-beneficio
4. Análisis de sensibilidad

En el capítulo 8 se ha demostrado la relación que existe entre el DEA, en su formulación dual, y la función coste para lograr enlazar ambas herramientas. La propuesta presentada en esta tesis consta de dos partes.

- **Primera etapa**

Esta primera etapa de la propuesta se centrará en la fase 2 del ACB, es decir, en la valoración de impactos. Suponiendo que ya se ha definido el problema, se ha realizado un diagnóstico de la situación y se han definido los objetivos que se piensan alcanzar con las alternativas de proyecto, se determinarán los impactos.

Los impactos son los efectos directos e indirectos de la alternativa de proyecto, los cuales pueden ser: fácilmente cuantificables y con un valor de mercado, como los costes de construcción, operación o mantenimiento; cuantificables y

con una asignación de valor de mercado, como el tiempo de viaje, el cambio climático o la contaminación del aire; y los de no fácil cuantificación y sin valor de mercado, como la accesibilidad, equidad y deforestación.

Para evaluar las alternativas de proyecto con los impactos cuantificables con valor de mercado o con asignación de valor de mercado, se puede seguir el procedimiento tradicional del ACB, obteniendo el valor presente neto (VPN), como se muestra en la formulación (26):

$$\text{Valor Presente Neto (VPN)} = \text{Impactos Económicos} + \text{Impactos sociales con valor de mercado} + \text{Impactos ambientales con valor de mercado} \quad (26)$$

El expresar los términos en su valor actual neto es la forma de representar el coste de oportunidad de dichos impactos. Los VPN representan el valor descontado de los impactos económicos, ambientales y sociales con valor de mercado.

Los costes y beneficios generados por la alternativa de proyecto varían con el tiempo, por lo que es importante que sean expresados en términos de valor actual neto. Realizar una infraestructura de transporte representa un gran coste económico, pero además los impactos de no directa monetización pueden tener efecto en un mayor periodo de tiempo.

Hasta este momento, la propuesta de esta tesis sigue la metodología del ACB, donde no se consideran los impactos de no directa monetización sin valor de mercado en el análisis. Siguiendo con la metodología, se realiza la suma de flujos monetarios. Entonces, el Valor Neto (VN) del proyecto es el VPN más la cuantificación del impacto de no directa monetización a considerar ( $C_k$ ) por su coste ( $z_k$ ), el cual puede afectar de manera positiva o negativa a los beneficios del proyecto. Por tanto, la ecuación (27) es:

$$VN = VPN - \sum_k^K C_k z_k \quad (27)$$

donde:

VN = Valor Neto

VPN = Valor Presente Neto

$C_k$  = Cuantificación del impacto a evaluar

$z_k$  = Precio sombra del impacto a evaluar

La estimación del precio (sombra),  $z_k$ , de los impactos de no directa monetización sin valor de mercado, es uno de los problemas clave en la evaluación de proyectos. Por lo general, el debate en la estimación surge en si el precio es correcto para ese impacto, por lo que en la propuesta no se le asigna un valor de mercado a  $z_k$  basándose en la importancia o preferencia, sino que se trata como variable desconocida.

El precio  $z_k$  es desconocido para evitar situaciones polémicas al momento de asignar un valor monetario a dicho impacto, debido al efecto que puede tener en el resultado final de la evaluación de la alternativa. La asignación de precios puede ser algo volátil, muchas veces recae en las preferencias, estrategias u oportunidades de dicho beneficio o coste, ya que asignar un precio es una valoración subjetiva en cierto modo. De esta manera, existe la posibilidad de que se pueda generar la modificación del bienestar real aportado por dicha alternativa de proyecto evaluada, que es realmente la polémica al momento de considerar estos impactos en la evaluación de proyectos de infraestructuras de transporte.

- **Segunda etapa**

Buscando ese equilibrio entre la productividad, eficiencia y una menor degradación ambiental para obtener infraestructuras más sostenibles, se han realizado esfuerzos para cuantificar los impactos de no directa monetización y asignarles un valor monetario.

Finalizada la primera etapa, se obtiene el Valor Neto ( $VN_k$ ) de cada alternativa de proyecto ( $k$ ), el cual está compuesto por dos valores conocidos. El primero es el Valor Presente Neto ( $VPN_k$ ) de la alternativa de proyecto, y el segundo es el vector  $C_k$ , que es la cuantificación del impacto sin valor de mercado a evaluar. El valor desconocido es el precio sombra relacionado al impacto sin valor de mercado,  $z_k$ .

Una de las bases del CBA es el óptimo de Pareto, que condiciona la maximización del bienestar, es decir, si al aumentar el bienestar de un individuo se degrada el de otro. Este es el principal criterio para evaluar las alternativas de infraestructura de transporte. (Cooper et al., 2006) menciona que Koopmans toma este concepto y lo adapta, diciendo que es posible aumentar la producción de una unidad sin empeorar alguna otra con los mismos recursos.

La adaptación de ambos es el denominado Pareto-Koopmans, donde los precios no son impuestos sino que, son asignados utilizando los precios de eficiencia, para lograr definir una alternativa de proyecto eficiente que incremente el bienestar de una parte de la sociedad sin degradar el bienestar de la otra parte. Así pues, una alternativa de proyecto es totalmente eficiente si y solo si no es posible mejorar ningún coste/beneficio sin empeorar algún otro coste/beneficio.

La eficiencia es una proporción o cociente de los recursos utilizados en la producción de una actividad. Para maximizar el cociente se debe tener el numerador en mayor medida superior al denominador. Siendo el numerador la alternativa de proyecto a evaluar ( $DMU_m$ ) y el denominador la alternativa de proyecto de referencia que es la evaluadora ( $DMU_n$ ) y su cociente la eficiencia ( $\theta_k$ ). La expresión (28) es la siguiente:

$$\theta_k = \frac{DMU_m}{DMU_n} \quad (28)$$

En la ecuación 28, se observa que la eficiencia económica entre dos alternativas de proyecto engloba la combinación correcta del beneficio generado y el coste de dichas alternativas.

Entonces, con la obtención del VN se puede definir la eficiencia de una alternativa (DMU) a evaluar en comparación con otra, según la formulación 29:

$$\theta_k = \frac{DMU_{km}}{DMU_{kn}} = \frac{VN_{kmy}}{VN_{knx}} = \frac{VPN_{kmy} \mp \sum_{y=1}^{Y=\infty} C_{kmy} Z_{kmy}}{VPN_{knx} \mp \sum_{x=1}^{X=\infty} C_{knx} Z_{knx}} \quad (29)$$

*my = conjunto de datos de alternativa a evaluar*

*nx = conjunto de datos de alternativa evaluadora*

La ecuación 29 hace referencia a la obtención de la eficiencia ( $\theta_k$ ) de una alternativa  $k$ , al evaluar una alternativa de proyecto ( $DMU_{km}$ ) con una alternativa de referencia evaluadora ( $DMU_{kn}$ ). También se hace referencia a que existen  $k$  alternativas de proyecto ( $DMU_k$ ), las cuales ofrecen costes y beneficios para el usuario de la infraestructura de transporte, pero también, para el resto de la sociedad. Por lo que, para encontrar la eficiencia en la evaluación de infraestructuras de transporte, se consideran los beneficios económicos



obtenidos por el VPN, así como los beneficios de los impactos de no directa monetización sin valor de mercado que la infraestructura generará.

Siguiendo el criterio de Pareto-Koopmans, se plantea la selección de una alternativa de proyecto solo si es eficiente desde el punto de vista del incremento de bienestar a la sociedad. Para lograrlo se necesitaría internalizar esos impactos sin valores de mercado, que hasta este momento son desconocidos, para conocer, de esta manera, el coste social que representan.

Como se ha mencionado, utilizar el DEA tiene como propósito encontrar la alternativa de proyecto que genere la máxima relación coste-beneficio y la asignación óptima de precios sombra para los impactos de no directa monetización sin un valor de mercado. La asignación de precios a los impactos sin valor de mercado es la parte de mayor discusión y el motivo por el cual diversos impactos no han sido agregados en el ACB. Poder asignar un precio a un impacto sin valor de mercado de una manera óptima es una cualidad que puede ayudar a incluir los impactos en un futuro en el ACB. Se tiene que considerar que una alternativa de proyecto eficiente no puede llevarse a cabo con precios negativos.

A continuación, se muestra el problema de programación lineal en la forma dual para identificar la alternativa de proyecto que ofrezca el mayor beneficio (q) entre varias alternativas (k), y obtener los precios (z) de los impactos de no directa monetización sin valor de mercado. Posteriormente, se obtiene el Valor Neto (VN) de cada alternativa.

$$q_k = \max_{z_{kym} z_{kxn}} \left[ \left( VPN_{kym} \pm \sum_{y=1}^{Y=\infty} C_{kym} z_{kym} \right) - \left( VPN_{kxn} \pm \sum_{x=1}^{X=\infty} C_{kxn} z_{kxn} \right) \right] \quad (30)$$

La formulación 30 es la función objetivo, en la que se realiza la comparación entre el proyecto a evaluar ( $kym$ ) y una alternativa de proyecto de referencia que es la evaluadora ( $kxn$ ), maximizando la función para los precios ( $z_k$ ) y así buscar el mayor beneficio entregado por la alternativa evaluada sobre la evaluadora. El resultado de ( $q_k$ ) puede ser un valor real no positivo o cero, implicando que no existe un precio ( $z_k$ ) no negativo del impacto de no directa monetización, por lo que no se genera un incremento en el VN de esa alternativa de proyecto.

El resultado de la función objetivo para todas las alternativas de proyecto son el precio ( $z_k$ ), con el cual se puede obtener el valor neto de cada alternativa ( $VN_k$ ), y el beneficio máximo ( $q_k$ ), el cual se puntúa de mayor a menor, y se elige el de mayor valor como el beneficio máximo ( $q$ ) de la alternativa evaluada.

$$\left[ \left( VPN_{kym} \pm \sum_{y=1}^{Y=\infty} C_{kym} z_{kym} \right) - \left( VPN_{kxn} \pm \sum_{x=1}^{X=\infty} C_{kxn} z_{kxn} \right) \right] \leq q_k \quad (31)$$

En el lado derecho de la desigualdad de la formulación 31, se encuentra el término estático  $q_k$ , siendo la función objetivo. El lado izquierdo es un término dinámico, siendo la diferencia de beneficio entre la principal alternativa a evaluar y el resto de las alternativas evaluadoras. Se busca que el término izquierdo sea menor o igual al derecho, demostrando que la  $q_k$  (alternativa evaluada y la alternativa principal evaluadora) presenta mayores beneficios que las otras alternativas con las que se compara. Con esto se espera conocer si la alternativa evaluadora principal es la mejor segunda mejor alternativa.

$$VPN_{kym} \mp \sum_{y=1}^{Y=\infty} C_{kym} z_{kym} \geq 0 \quad (32)$$

La formulación 32, es una restricción en la que la suma del VPN más la cuantificación del impacto sin valor de mercado por su precio  $z_k$  debe ser mayor a cero. Esto garantiza que el VN sea positivo con los precios sombra encontrados siendo una alternativa socialmente factible, de no ser así, no se encuentra una posible solución con precios sombra positivos.

$$z_{kym}, z_{kxn} \geq 0 \quad (33)$$

Por último, la formulación 33 establece que los precios sombra ( $z_{ym}, z_{xn}$ ) deben ser mayores a cero. Se buscan precios sombra que sean números reales positivos, ya que estamos hablando de precios absolutos y no relativos, no podemos tener precios monetarios negativos. Estos precios sombra son las variables desconocidas y es una forma de interpretar la relación coste - beneficio de la alternativa de proyecto hacia la sociedad.

Esto convierte a dicha alternativa en un proyecto rentable socialmente, por lo que puede ser un potencial a seleccionar debido a su eficiencia entre la inversión realizada y beneficio generado.

La formulación completa se presenta en 34, por lo que el problema de programación lineal para la evaluación de proyectos con impactos de no directa monetización sin valor de mercado es la siguiente:

$$q_k = \max_{z_{kym}, z_{kxn}} \left[ \left( VPN_{kym} \pm \sum_{y=1}^{Y=\infty} C_{kym} z_{kym} \right) - \left( VPN_{kxn} \pm \sum_{x=1}^{X=\infty} C_{kxn} z_{kxn} \right) \right] \quad (34)$$

s.t.

$$\left[ \left( VPN_{kym} \pm \sum_{y=1}^{Y=\infty} C_{kym} z_{kym} \right) - \left( VPN_{kxn} \pm \sum_{x=1}^{X=\infty} C_{kxn} z_{kxn} \right) \right] \leq q_k$$

$$VPN_{kym} \mp \sum_{y=1}^{Y=\infty} C_{kym} z_{kym} \geq 0$$

$$z_{kym}, z_{kxn} \geq 0$$

Entonces al resolver este problema de programación lineal se obtienen dos valores: el precio sombra de los impactos evaluados ( $z_{ym}, z_{xn}$ ) y el beneficio máximo de la alternativa de proyecto ( $q_k$ ), este último como un valor de la eficiencia de la alternativa en comparación al resto de alternativas. Se realizará una puntuación de mayor a menor de los valores  $q_k$ , y solo se seleccionará el valor máximo de la comparación k como el beneficio máximo de las alternativas de proyecto ( $q_k$ ).

El beneficio máximo de la alternativa de proyecto ( $q_k$ ) es una comparación entre alternativas, siendo los precios sombra ( $z_k$ ) parte fundamental para dicha comparación. Por lo que, dependiendo del valor de  $q_k$  de una alternativa de proyecto se puede colocar como la más viable en comparación al resto de alternativas. Si  $q_k$  tiene un valor mayor a cero, demuestra que es una alternativa eficiente socialmente.

Puede que el beneficio máximo de la alternativa de proyecto ( $q_k$ ) sea igual a cero, esto sucede cuando no existen precios sombra ( $z_k$ ) positivos, por lo que no se encuentra una solución. No significa que esa alternativa no sea atractiva, recordemos que esta es la segunda etapa en la evaluación de proyectos, simplemente es una alternativa ineficiente socialmente y existen alternativas de proyecto que aportan un mayor beneficio social por lo que tienen una mayor ventaja de al ser implementadas.

Entonces siendo, el valor de  $q_k$  siempre un valor real positivo, cuanto más cerca se encuentre de cero será menos competitiva la alternativa analizada en comparación a las demás alternativas de proyecto. Por lo tanto, tenemos diversos valores de precio sombra a considerar para clasificar la alternativa como relevante, necesitando al menos un precio sombra mayor a cero para que sea socialmente rentable. Por lo tanto podríamos clasificar a las alternativas de proyecto de la siguiente manera:

Completamente Rentable	$q_k > 0$ y $z_k > 0$
Escasamente Rentable (Socialmente)	$q_k > 0$ y $z_k = 0$
No Rentable (Socialmente)	$q_k = 0$ y $z_k = 0$

El mejor proyecto es el completamente rentable, el cual tiene un beneficio tanto económico como social. Puede haber alternativas de proyecto con  $N$  impactos a evaluar y ser solamente en  $n$  impactos completamente eficiente.

Las alternativas de proyecto escasamente rentables (socialmente) son proyectos en los que sus beneficios máximos representan la parte económica. Se clasifican como proyectos escasamente eficientes, ya que no existe un beneficio extra al considerar los impactos de no directa monetización sin valor de mercado.

Las alternativas de proyecto clasificadas como no rentables (socialmente), son aquellas que no tienen un beneficio social extra. Se pueden clasificar como alternativas ineficientes y se recomendaría no implementarlas, ya que existen mejores alternativas que si tienen un aporte al bienestar social.

Realizando este procedimiento, los precios sombras obtenidos son precios absolutos por lo que se puede estimar el VN total en términos monetarios de esta manera se puede tener otro aspecto a considerar en las alternativas de proyecto para su selección.

La propuesta tiene dos parámetros para evaluar a las alternativas de proyecto, el beneficio máximo de la alternativa ( $q_k$ ) y los precios sombra ( $z_k$ ), pero tomando ventaja de los precios absolutos se puede realizar una actualización de la proporción beneficio/coste (B/C). La relación B/C en muchos países es un parámetro importante en la toma de decisión para la realización de una alternativa de proyecto, por lo que se puede sumar los beneficios generados con los impactos sin valor de mercado a los del VPN encontrados en la primera parte.

Para resolver el problema lineal existen diversas herramientas, pero en este caso lo que se utilizó el lenguaje de programación Python, debido a que es de código abierto, que acentúa su sintaxis en la legibilidad del código. Además, cuenta con diversas librerías con diversas funciones, como la librería puLP para resolver el problema lineal.

El algoritmo 1 muestra el pseudocódigo para su solución y la figura 37 muestra el procedimiento para realizar la evaluación en dos etapas de proyectos de infraestructura de transporte con impactos de no directa monetización.

---

**Algorithm 1** Pseudocódigo para resolver LP con librería puLP y Python

---

```

import puLP
Crear lista con valores B y C de proyectos
repeat
    Crear variable para proyecto  $K_i$ 
    Crear variable para precio sombra  $z_i$ ; asignar restricción
    for  $m_b$  y  $m_c$  en lista do
        for  $n_b$  y  $n_c$  en lista do
            asignar valor a variable proyecto
            LP con proyecto a evaluar y evaluadora
             $LP \geq 0$ 
            resolver LP
        end for
    end for

```

---

Algoritmo 1. Pseudocódigo para resolver el problema de programación lineal. Fuente: Elaboración propia.

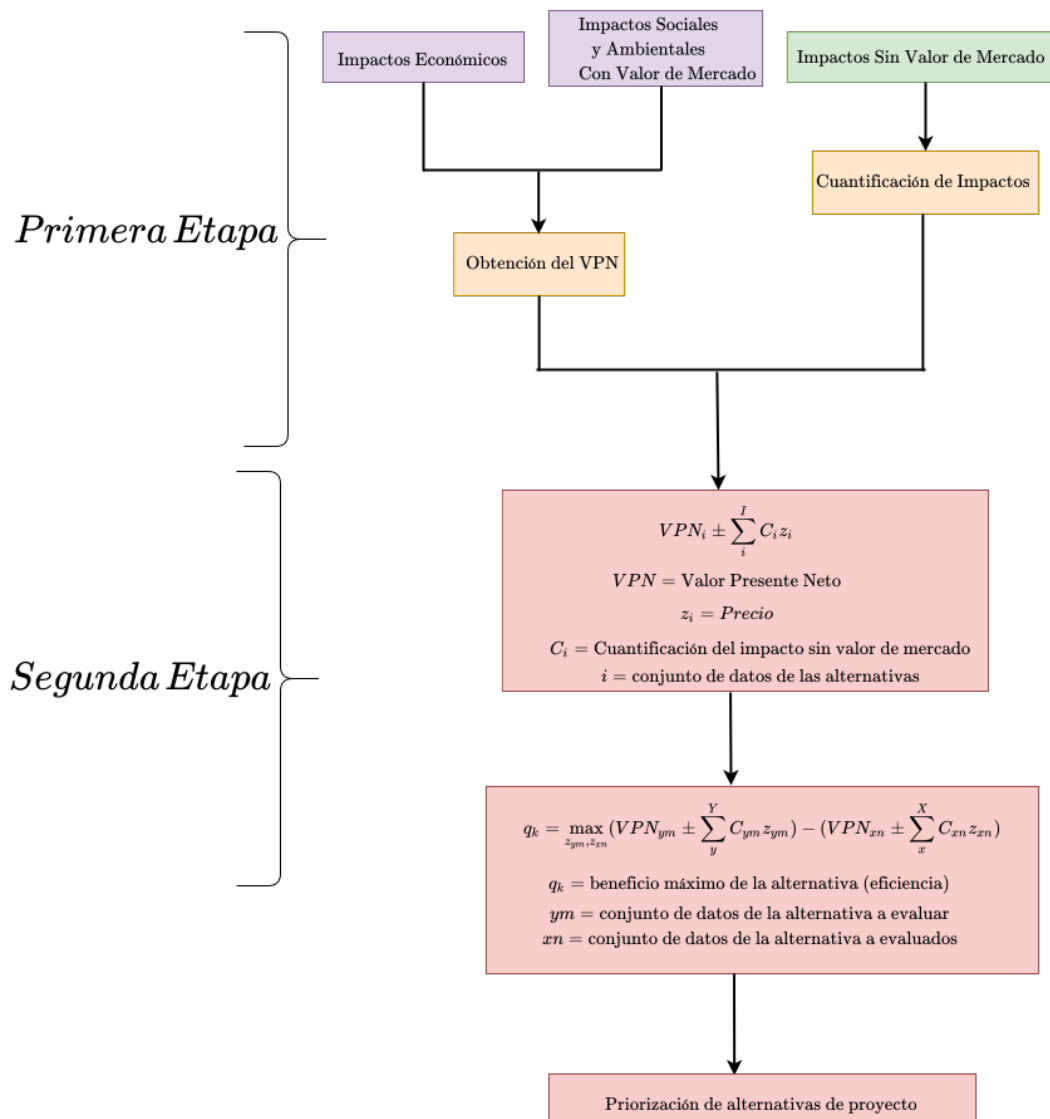


Figura 37. Proceso para la valoración de proyectos de infraestructura de transporte con impactos de no directa monetización. Referencia: Elaboración propia.

Se propone un método para la evaluación de proyectos de infraestructuras de transporte con impactos sin valor de mercado, dándole un nuevo enfoque a herramientas ya presentadas. Se ha utilizado el análisis envolvente de datos y el problema de la dieta en sus versiones duales para asignar un valor monetario a los impactos a estudiar en la evaluación de infraestructuras de transporte. En otras palabras, se ha utilizado un método de programación

lineal para la asignación de precios a los impactos sin valor de mercado para la evaluación de proyectos de infraestructura de transporte.

La asignación de precios se realiza dentro del modelo de programación lineal, no son precios sombras relativos sino precios absolutos que pueden ser utilizados para obtener el valor neto total, al incluir el coste del impacto con su precio obtenido. La asignación del precio de los impactos sin directa monetización dentro de la herramienta evita polémicas sobre la subjetividad de dicha asignación.

Además, se obtiene el beneficio máximo aportado por la alternativa de proyecto como valor para priorizar, mediante la comparación de la alternativa con el resto de alternativas.

Con la propuesta presentada se realiza una aportación al área de evaluación de proyectos de infraestructura de transporte, mediante la consideración de los impactos sin valor de mercado que se han visto relegados del ACB, que es la herramienta más utilizada actualmente. Se ha logrado incluir impactos sin valor de mercado, que muchas veces son de naturaleza social, dificultando su inclusión en el ACB al no haber un acuerdo en la asignación de su valor monetario.

Al utilizar el DEA en la segunda etapa, las alternativas de proyecto pueden clasificarse mediante su eficiencia, según los valores del beneficio máximo de la alternativa de proyecto ( $q_k$ ) y los precios sombra ( $z_k$ ). Los precios obtenidos en la propuesta para los impactos sin valor de mercado son solamente para esta comparación entre alternativas de proyecto.

### **9.3. Ejemplo numérico**

En esta sección se mostrará, mediante un ejemplo numérico hipotético, la implementación de la propuesta planteada.



Una ciudad quiere implementar una mejora en su movilidad urbana, optimizando la conexión entre las partes norte y sur de la ciudad, a la vez que minimiza el tráfico y el uso del vehículo privado de combustión interna en la parte central de la ciudad. Esto libera espacio que puede ser destinado al uso de otro tipo de vehículos más sostenibles, al transporte activo como la bicicleta o a pie, y a la mejora del transporte público.

Se tienen diversos tipos de alternativas de proyecto con la intención de mejorar la funcionalidad de la red de transporte, por lo que se plantea una nueva ronda alrededor de la ciudad, tres diferentes líneas de tranvía, una línea de bus y un nuevo carril bici. Suponemos que se ha terminado la primera fase donde obtuvo el VPN de cada alternativa de proyecto. Se quieren evaluar dos impactos de no directa monetización sin valor de mercado (imagen e inclusión social), los cuales se han cuantificado.

En este ejemplo numérico, el valor hipotético de la imagen se ha obtenido mediante un estudio cualitativo en el que se realiza una puntuación de la percepción de los posibles usuarios. La puntuación oscila entre 1 y 10, siendo 1 el menos valorado y 10 el mejor. La agencia de transporte de Nueva Zelanda (NZ Transport Agency, 2020b) propone este método en su manual de beneficios de no directa monetización.

El valor de la inclusión social se obtiene de un estudio hipotético sobre el acceso de los posibles usuarios a la infraestructura, mediante una puntuación que oscila entre 1 y 10, siendo 1 el menos valorado y 10 el mejor. Cuanto mayor sea el valor de la inclusión social, mayor es la oportunidad de los usuarios de utilizar la propuesta de la alternativa de transporte. Al igual que en el caso anterior, la agencia de transporte de Nueva Zelanda (NZ Transport Agency, 2020b) propone este método en su manual de beneficios de no directa monetización, aunque no tiene una metodología generalizada.

Los datos son los siguientes:

<i>Proyecto</i>	<i>VPN (M€)</i>	<i>Imagen</i>	<i>Inclusión Social</i>
<i>Ronda</i>	120,3	2	4
<i>Tranvía 1</i>	85	5	5
<i>Tranvía 2</i>	-84	3	5
<i>Tranvía 3</i>	-93	8	7
<i>Línea de Bus</i>	-11	6	7
<i>Carril Bici</i>	14	6	8

Tabla 9. Datos de las alternativas de proyecto. Fuente: Elaboración propia.

La formulación del VN de las alternativas de proyecto son:

$$\begin{aligned}
 \text{Ronda:} & \quad (120,3 + 2x + 4y) \\
 \text{Tranvía 1:} & \quad (85 + 5x + 5y) \\
 \text{Tranvía 2:} & \quad (-84 + 3x + 5y) \\
 \text{Tranvía 3:} & \quad (-93 + 8x + 5y) \\
 \text{Línea de Bus:} & \quad (-11 + 6x + 7y) \\
 \text{Carril Bici:} & \quad (14 + 6x + 8y)
 \end{aligned}$$

Se ilustrará el procedimiento mostrando un segmento del problema de programación lineal con la alternativa de proyecto "Ronda". La secuencia se realizará para cada una de las alternativas de proyecto, siendo la alternativa "Ronda" la alternativa evaluada y "Tranvía 1" la alternativa evaluadora de referencia. En la segunda secuencia la alternativa "Ronda" sigue siendo la alternativa evaluada y "Tranvía 2" la alternativa evaluadora de referencia. Realizando una secuencia por cada alternativa, entonces:

$$(120.3 + 2x_1 + 4y_1) - (85 + 5x_1 + 5y_1)$$

$$[(120.3 + 2x_1 + 4y_1) - (-84 + 3x_1 + 5y_1)] \leq [(120.3 + 2x_1 + 4y_1) - (85 + 5x_1 + 5y_1)]$$

$$[(120.3 + 2x_1 + 4y_1) - (-93 + 8x_1 + 5y_1)] \leq [(120.3 + 2x_1 + 4y_1) - (85 + 5x_1 + 5y_1)]$$

$$[(120.3 + 2x_1 + 4y_1) - (-11 + 6x_1 + 7y_1)] \leq [(120.3 + 2x_1 + 4y_1) - (85 + 5x_1 + 5y_1)]$$

$$[(120.3 + 2x_1 + 4y_1) - (14 + 6x_1 + 8y_1)] \leq [(120.3 + 2x_1 + 4y_1) - (85 + 5x_1 + 5y_1)]$$

$$(120.3 + 2x_1 + 4y_1) \geq 0$$

$$x_1 \geq 0$$

$$y_1 \geq 0$$

$$(120.3 + 2x_2 + 4y_2) - (-84 + 3x_2 + 5y_2)$$

$$[(120.3 + 2x_2 + 4y_2) - (85 + x_2 + 5y_2)] \leq [(120.3 + 2x_2 + 4y_2) - (-84 + 3x_2 + 5y_2)]$$

$$[(120.3 + 2x_2 + 4y_2) - (-93 + 8x_2 + 5y_2)] \leq [[(120.3 + 2x_2 + 4y_2) - (-84 + 3x_2 + 5y_2)]]$$

$$[(120.3 + 2x_3 + 4y_3) - (-11 + 6x_2 + 7y_2)] \leq [[(120.3 + 2x_2 + 4y_2) - (-84 + 3x_2 + 5y_2)]]$$

$$[(120.3 + 2x_2 + 4y_2) - (14 + 6x_2 + 8y_2)] \leq [[(120.3 + 2x_2 + 4y_2) - (-84 + 3x_2 + 5y_2)]]$$

$$(120.3 + 2x_2 + 4y_2) \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

$$y_2 \geq 0$$

⋮

El procedimiento es el siguiente:

- Se construye la función objetivo,  $q_k$ , el primer término es  $VPN_{kym} \pm C_{kym}Z_{kym}$ , que será la alternativa "Ronda" a evaluar y el segundo término es  $VPN_{kxn} \pm C_{kxn}Z_{kxn}$  que será la alternativa "Tranvía 1" como alternativa de referencia evaluadora principal.

- La primera restricción es una desigualdad, en la parte derecha se tiene el término  $q_k$ , como término estático que sigue siendo la función objetivo. En el lado izquierdo se tienen dos términos, el primero  $VPN_{kym} \pm C_{kym}z_{kym}$  es la alternativa "Ronda", el segundo  $VPN_{kxn} \pm C_{kxn}z_{kxn}$  siendo el resto de alternativas como alternativas evaluadoras, comenzando con "Tranvía 2".
- La segunda restricción es  $VPN_{kym} \pm C_{kym}z_{kym} \geq 0$ , corresponde a la alternativa "Ronda" que será evaluada, la cual debe tener un valor mayor o igual a cero.
- La tercera y cuarta restricción es que los precios sombra,  $z_{kym}$ ,  $z_{kxn}$ , deben ser superiores a cero.

El resultado de la evaluación de la alternativa "Ronda" se muestra en la tabla 10, donde dos alternativas fueron óptimas al encontrarse el resultado de la maximización de acuerdo a todas las restricciones. Las alternativas viables son "Ronda-Tranvía 2" y "Ronda-Tranvía 3". El parámetro principal es  $q_{ronda}$  por lo que la comparación donde se muestra el máximo beneficio de la alternativa ronda es "Ronda-Tranvía 3", siendo este el valor de  $q_{ronda}$ .

Comparación	Estado	x	y	q
Ronda-Tranvía 1	Inviabile	0,0	48,0	-12,70
Ronda-Tranvía 2	Óptimo	1,8	0,0	202,5
Ronda-Tranvía 3	Óptimo	0,0	0,0	213,3
Ronda- Línea de Bus	Inviabile	41,0	0,0	-107,7
Ronda-Carril Bici	Inviabile	53,5	0,0	-107,7

Tabla 10. Resultados de la evaluación de la alternativa Ronda. Fuente: Elaboración propia.

La tabla 11 presenta los resultados del problema, la primera columna es el nombre de la alternativa de proyecto, la segunda es el valor  $q_k$ , (el máximo beneficio del proyecto que puede entregar en comparación al resto de

alternativas), la tercera es el precio del impacto imagen, la cuarta el precio de la inclusión social y la última es el VN actualizado obtenido con los precios de los impactos.

El proyecto Ronda tiene un beneficio máximo ( $q_{ronda}$ ) total de 213,3 M€, sin embargo los precios encontrados para la imagen e inclusión social son cero por lo que su valor neto no ha tenido una actualización, quedando en 120,3 M€. Esta alternativa no muestra ningún precio mayor a cero por lo que se recomienda descartar la alternativa "Ronda" debido a que es catalogado como una alternativa ineficiente socialmente.

Proyecto	$q_k$ (M€)	$z_x$ (M€)	$z_y$ (M€)	VN(M€)
Ronda	213,3	0	0	120,3
Tranvía 1	577,6	204,3	0	1106,5
Tranvía 2	9	0	213,3	555,9
Tranvía 3	1012,5	204,3	0	1541,4
Línea de Bus	685,9	204,3	0	1214,8
Carril Bici	710,9	1,8	202,5	1644,8

Tabla 11. Resultados ejemplo numérico. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de  $q_k$  para cada alternativa de proyecto muestran que la alternativa "Tranvía 3" es el que tiene un máximo beneficio en comparación a las otras y la alternativa con el segundo mayor VN. La alternativa "Carril Bici" es completamente eficiente aportando beneficios máximos por encima de la media y siendo el que aporta el mayor VN.

En este caso, el posible proyecto a seleccionar es el "Tranvía 3" siendo el proyecto con el beneficio máximo siendo, además el segundo con el mayor valor neto total. Los proyectos que no se recomienda implementarse son el "Tranvía 2" dado a sus bajos rendimientos y la alternativa "Ronda" que no tiene ningún precio mayor a cero.

La figura 38 muestra el beneficio máximo de cada alternativa y su valor neto actualizado. La alternativa "Ronda" se encuentra en color azul debido a que el valor de los precios de los impactos imagen e inclusión social son cero.

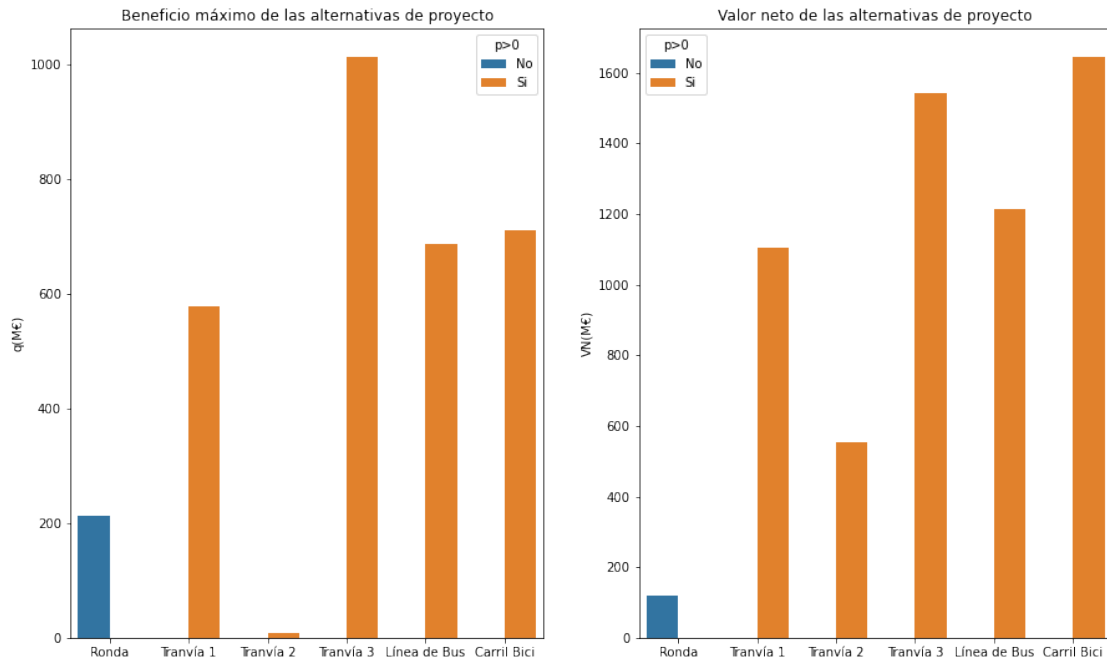


Figura 38. Beneficio Máximo y Valor Neto de las alternativas de proyecto. Fuente: Elaboración propia.

La consideración de los impactos sin valor de mercado en la evaluación de proyectos es importante. Sin esta consideración las alternativas que sólo presentan impactos con valor de mercado tienen mayores posibilidades de ser implementadas. Al considerar estos impactos sin valor de mercado cambia el panorama y las alternativas que generan impactos de naturaleza social tienen una mayor posibilidad de ser escogidas.

Este es un ejemplo hipotético, que sirve para ilustrar el procedimiento de la aplicación para la evaluación de proyectos con impactos de no directa monetización sin valor de mercado.

# **10. CAPÍTULO 10: Caso de Estudio: Conexiones sobre el IJ en Ámsterdam.**

Para realizar este caso de estudio, se busco un proyecto evaluado mediante el ACB para realizar una comparación con la propuesta para evaluar infraestructuras de transporte con impactos de no directa monetización sin valor de mercado. Se selecciono el proyecto de conexión entre riberas del IJ en la ciudad de Ámsterdam (Decisio, 2017b). El estudio lo realizó la consultora privada Decisio de Holanda, especializada en la economía espacial, la movilidad y las infraestructuras para la ciudad de Ámsterdam en el año 2016, cuyo informe contiene datos que son de utilidad para la realización de este caso.

## **10.1. Antecedentes**

La ciudad de Ámsterdam esta creciendo en población y en comercio, a la vez que existe un mayor crecimiento turístico. Se han designado nuevas instalaciones públicas situadas alrededor del rio IJ, por lo que es importante preparar conexiones entre ambas riberas, existiendo una necesidad de conectar la parte norte de la Ámsterdam hacia otras partes de la ciudad. Las actuales conexiones son mediante transbordadores, pero se analiza la construcción de túneles y puentes. Estas infraestructuras tienen diferentes efectos en la accesibilidad, la navegación, y el medio ambiente, además de otros posibles efectos indirectos.

## Alternativas de muelles, túneles y/o puentes

Las alternativas de proyecto deben estar preparadas para el aumento de movilidad de personas provocando una presión en las infraestructuras. Esto hace necesario investigar el comportamiento a futuro de las conexiones entre las riberas del IJ, considerando que es una ruta marítima muy transitada clasificada como ruta marítima principal y parte del corredor Ámsterdam-Rin.

El punto de partida en el diseño de los puentes es un paso suave y seguro para la navegación interior. Las alternativas y variantes del proyecto consideran las directrices para el transporte marítimo y también puentes más altos para permitir el transporte de contenedores (11,35 metros en lugar de 9,70). La tabla 12 menciona las diferentes alternativas de proyecto:

<i>Alternativa</i>	<i>Nombre de proyecto</i>
1a	Optimización de los muelles
2a	Túnel IJ-cuadrado
3a	Javatunnel
3b	Javabrug (fijo, 9,7m)
3c	Puente de Java (fijo, 11,35m)
4a	Túnel principal de stenen hoofd
4b	Puente principal de stenen hoofd (160m móviles)
5a	Túnel principal de java y stenen hoofd
5b	Puente principal de Java y stenen hoofd (fijo)
6a	Sixhaven
6b	Sixhaven + Optimizar muelles
6c	Túnel peatonal + optimización de muelles
6c	Túnel peatonal + optimización de muelles

Tabla 12. Alternativas de proyecto para la conexión de riberas de IJ. Referencia: Elaboración propia con datos de (Decisio, 2017b).



La figura 39 muestra la zona de impacto de los proyectos de infraestructura para unir la parte norte de la ciudad con el resto de esta.

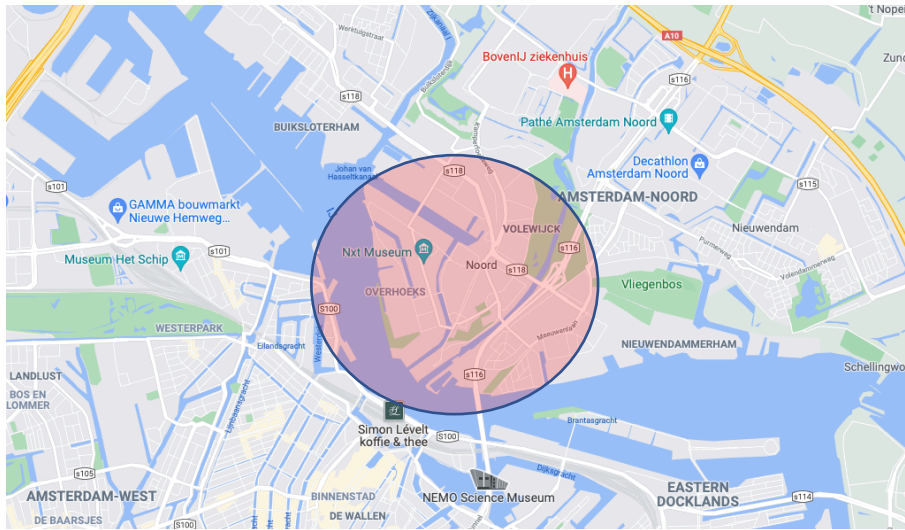


Figura 39. Proceso para la valoración de proyectos de infraestructura de transporte con impactos de no directa monetización. Referencia: Elaboración propia Google (2005).

## 10.2. Primera etapa

### 10.2.1. Obtención del VPN

Un resumen de los resultados del ACB del estudio realizado por Decisio (2017b) son mostrados en la tabla 10. En el informe de resultados se hace referencia a impactos que no se pudieron analizar, por lo que se dejaron como sin datos (SD), que son la percepción de seguridad y la seguridad exterior. Estos impactos podrían tener importancia en el resultado final de la evaluación de las alternativas de proyecto.

Alternativa de proyecto	Percepción de Seguridad	Seguridad Exterior	Impactos Económicos (M€)	Impacto Social (M€)	VPN (M€)	B/C
1a	SD	SD	-106	396	290	3,7
2a	SD	SD	-241	845	603	3,5
3a	SD	SD	-217	568	351	2,6

3b	SD	SD	-268	784	516	2,9
3c	SD	SD	-275	783	508	2,8
4a	SD	SD	-147	904	757	6,1
4b	SD	SD	-168	767	599	4,6
5a	SD	SD	-335	1021	686	3,0
5b	SD	SD	-325	1149	824	3,5
6a	SD	SD	-60	232	173	3,9
6b	SD	SD	-159	598	439	3,8
6c	SD	SD	-267	614	347	2,3
6d	SD	SD	-320	686	367	2,1

Tabla 13. Resumen de resultados alternativas proyecto IJ. Sin Datos (SD). Referencia: Elaboración propia con datos de Decisio (2017b).

### 10.2.2. Cuantificación de los impactos sin valor de mercado

Identificados los impactos de no directa monetización que no fueron considerados en el ACB por no tener precios de mercado, se pueden expresar de la siguiente manera en conjunto con el VPN calculado con los impactos con valor de mercado.

1a:  $290 \pm SD$

2a:  $603 \pm SD$

3a:  $351 \pm SD$

3b:  $516 \pm SD$

3c:  $508 \pm SD$

4a:  $757 \pm SD$

4b:  $599 \pm SD$

5a:  $686 \pm SD$

5b:  $824 \pm SD$

6a:  $173 \pm SD$

6b:  $439 \pm SD$

6c:  $347 \pm SD$

6d:  $367 \pm SD$

Estos impactos se clasifican de importancia en el reporte de la consultora Decisio, pero sin la posibilidad de incluirlos en el CBA, dando la oportunidad de realizar mediante la propuesta de evaluación de proyectos con impactos de no directa monetización la evaluación de las alternativas de proyecto y realizar una comparación con los resultados obtenidos.

Sin embargo, se tiene el inconveniente de no tener información detallada para poder realizar la cuantificación de dichos impactos, por lo que se harán algunas suposiciones en base a la información obtenida del informe del ACB. Para cuantificar los impactos se tratarán como variables categóricas y se les asignará un valor que será la cuantificación de dicho impacto el cual oscilará entre 0 y 1.

### **Percepción de Seguridad**

Decisio (2017b) describe la seguridad que siente uno dentro de un túnel, que suele ser percibido como socialmente inseguro, surgiendo una sensación de inseguridad en diversas situaciones, al atardecer o por la noche, circulando en bicicleta o caminando por un túnel largo y habiendo pocas personas presentes. En comparación con la situación de referencia, la percepción de seguridad se evalúa peor en las variantes de proyecto con túnel. Este efecto es menos pronunciado en los puentes, ya que los ciclistas y los peatones son más visibles.

Una longitud menor a 100 metros para un puente cumple el requisito de percepción de seguridad. Si la alineación no es recta, una longitud de túnel de más de 50 metros no es lo suficientemente segura desde el punto de vista social. Además de la visibilidad, es importante, la presencia de "ojos sociales": la presencia real o tangible de personas y una alta frecuencia de uso ayuda al aumento de la percepción de seguridad. En este sentido, un puente con una gran luz puede resultar poco seguro en momentos en los que hay pocos transeúntes en el.

La información del informe menciona que la sensación de seguridad disminuye en longitudes mayores a 50m para túneles y 100m para puentes. Las alternativas planteadas para puentes y túneles superan estas longitudes, por lo que se les asignará un valor de 0,5 en percepción de seguridad. La alternativa de proyecto que considera la construcción de una línea de metro, por la característica de ser habitualmente subterráneo y que se encuentra completamente acondicionado para ello, tendrá una asignación para la percepción de seguridad de 1,0. A las propuestas que son la unión de dos o más alternativas, se les asignará una cuantificación de percepción de seguridad al calcular la media del valor de la percepción de seguridad de cada alternativa.

La tabla 14 menciona como han quedado los valores para la percepción de seguridad:

<i>Alternativas</i>	<i>Nombre Proyecto</i>	<i>Percepción de Seguridad</i>
1a	Optimización de los muelles	0,5
2a	Túnel IJ-cuadrado	0,5
3a	Javatunnel	0,5
3b	Javabrug (fijo, 9,7m)	0,5
3c	Puente de Java (fijo, 11,35m)	0,5
4a	Túnel principal de stenen hoofd	0,5
4b	Puente principal de stenen hoofd (160m móviles)	0,5
5a	Túnel principal de java y stenen hoofd	0,5
5b	Puente principal de Java y stenen hoofd (fijo)	0,5
6a	Sixhaven	1,0
6b	Sixhaven + Optimizar muelles	0,75
6c	Túnel peatonal + optimización de muelles	0,5
6d	Optimizar muelles + Túnel peatonal + Sixhaven	0,66

Tabla 14. Cuantificación de la Percepción de Seguridad. Fuente: Elaboración propia.

## **Seguridad exterior**

Decisio (2017b) menciona que el transporte de sustancias peligrosas se realiza en buques de navegación interior en el IJ, lo que puede implicar un riesgo de

grupo y un riesgo específico del lugar. Los habitantes de una determinada zona pueden enfrentarse a un riesgo específico en la misma por las sustancias peligrosas que son transportadas en los buques que navegan en el IJ. La seguridad exterior trata la probabilidad por año de que una persona muera debido a un accidente relacionado con el transporte de una sustancia peligrosa.

La probabilidad de que se produzca un accidente con sustancias peligrosas es pequeña, pero no imposible. Además, de producirse un accidente de este tipo, es probable que haya víctimas. Tanto el riesgo de grupo como el riesgo específico del lugar merecen atención en la toma de decisiones final.

El informe de Decisio señala que el tránsito marítimo por el IJ va en aumento y gran parte de los buques transportan sustancias peligrosas ocasionando una disminución en la seguridad para las personas que se encuentren en la zona. Las infraestructuras más afectadas son las relacionadas con la vía marítima y los puentes, debido a que los buques con sustancias peligrosas transitan o pasan por debajo de estos, entonces la cuantificación de la seguridad exterior es de 0,5. Las infraestructuras menos afectadas son las que no tienen relación con la vía marítima asignándole una cuantificación de 1,0 a su seguridad exterior. Entre las propuestas se encuentran la unión de dos o más alternativas, la asignación de su cuantificación de seguridad exterior será la media del valor de la seguridad exterior de cada alternativa.

La tabla 15 muestra como han quedado los valores para la seguridad exterior:

<i>Alternativas</i>	<i>Nombre Proyecto</i>	<i>Seguridad exterior</i>
1a	Optimización de los muelles	0,5
2a	Túnel IJ-cuadrado	1,0
3a	Javatunnel	1,0
3b	Javabrug (fijo, 9,7m)	0,5
3c	Puente de Java (fijo, 11,35m)	0,5
4a	Túnel principal de stenen hoofd	1,0
4b	Puente principal de stenen hoofd (160m móviles)	0,5

5a	Túnel principal de java y stenen hoofd	1,0
5b	Puente principal de Java y stenen hoofd (fijo)	0,5
6a	Sixhaven	1,0
6b	Sixhaven + Optimizar muelles	0,75
6c	Túnel peatonal + optimización de muelles	0,5
6d	Optimizar muelles + Túnel peatonal + Sixhaven	0,8

Tabla 15. Cuantificación de Seguridad Exterior. Fuente: Elaboración propia.

### 10.3. Segunda Etapa

#### 10.3.1. Problema de programación lineal para la evaluación de alternativas de proyecto en infraestructuras de transporte

Con la obtención del VPN de cada alternativa y la cuantificación de los impactos de no directa monetización sin valor de mercado en la primera etapa, se obtienen las funciones del problema programación lineal para cada alternativa de proyecto, como se muestra:

$$1a: \quad 290 + 0,5x_1 + 0,5y_1$$

$$2a: \quad 603 + 0,5x_2 + 1,0y_2$$

$$3a: \quad 351 + 0,5x_3 + 1,0y_3$$

$$3b: \quad 516 + 0,5x_4 + 0,5y_4$$

$$3c: \quad 508 + 0,5x_5 + 0,5y_5$$

$$4a: \quad 757 + 0,5x_6 + 1,0y_6$$

$$4b: \quad 599 + 0,5x_7 + 0,5y_7$$

$$5a: \quad 686 + 0,5x_8 + 1,0y_8$$

$$5b: \quad 824 + 0,5x_9 + 0,5y_9$$

$$6a: \quad 173 + 1,0x_{10} + 1,0y_{10}$$

$$6b: \quad 439 + 0,75x_{11} + 0,75y_{11}$$

$$6c: \quad 347 + 0,5x_{12} + 0,5y_{12}$$

$$6d: \quad 367 + 0,88x_{13} + 0,88y_{13}$$

Con las funciones se puede construir el problema de programación lineal (34) para la evaluación de proyectos con impactos de no directa monetización sin valor de mercado y resolverlo.

Se obtiene el beneficio máximo ( $q_k$ ) de cada alternativa, y los precios de los impactos, con los cuales se puede obtener el valor neto (VN). Los resultados se muestran en la tabla 13.

<i>Alternativa de proyecto</i>	$q_k$ (M€)	<i>Percepción de Seguridad</i> (M€)	<i>Seguridad Exterior</i> (M€)	VN (M€)
<i>1a Optimización de los muelles</i>	117	0	0	290
<i>2a Túnel IJ-cuadrado</i>	431	0	0	603
<i>3a Javatunnel</i>	178	0	0	351
<i>3b Javabrug (fijo, 9,7m)</i>	227	0	234	750
<i>3c Puente de Java (fijo, 11,35m)</i>	218	0	234	742
<i>4a Túnel principal de stenen hoofd</i>	585	0	0	757
<i>4b Puente principal de stenen hoofd (160m móviles)</i>	310	0	234	833
<i>5a Túnel principal de Java en stenen hoofd</i>	513	0	0	686
<i>5b Puente principal de Java en stenen hoofd (fijo)</i>	534	234	0	1.058
<i>6a Sixhaven</i>	0	0	0	173
<i>6b Sixhaven + Optimizar muelles</i>	266	0	0	439
<i>6c Túnel peatonal + Optimización de muelles</i>	58	234	0	581
<i>6d Optimizar muelles + Túnel peatonal + Sixhaven</i>	194	0	0	367

Tabla 16 Resultados de la evaluación de alternativas. Fuente: Elaboración propia

La alternativa que ofrece un máximo beneficio es el "Túnel principal de stenen hoofd" (4a) con un beneficio máximo de 585 millones de euros siendo un proyecto escasamente rentable socialmente, ya que no aporta un beneficio social extra evaluándolo con los impactos Percepción de Seguridad y Seguridad Exterior, por lo que su valor neto es el mismo.

La siguiente mejor alternativa es el "Puente principal de Java y stenen hoofd" (5b) un proyecto rentable socialmente con un beneficio máximo de 534 millones de euros y un valor neto de 1.058 millones de euros, teniendo un aumento de 234 millones de euros en beneficios sociales.

Se tiene que comentar que en este caso en particular los precios asignados a la Percepción de Seguridad y Seguridad Exterior son idénticos. La propuesta asigna de manera endógena los precios para los impactos sin valor de mercado buscando que sean los óptimos, en este caso el resultado del problema de programación lineal fueron precios idénticos.

La figura 40 muestra el beneficio máximo de las diferentes alternativas de proyecto, las alternativas en color azul son escasamente rentable socialmente y las naranjas son rentables socialmente. Las alternativas de proyecto más rentables socialmente en su mayoría son puentes a excepción del "Túnel peatonal + optimización de muelles" (6c) que es una alternativa donde se consideran dos proyectos de diferente naturaleza. La mayoría de las alternativas de proyecto que no son rentables socialmente son túneles y optimización de muelles.



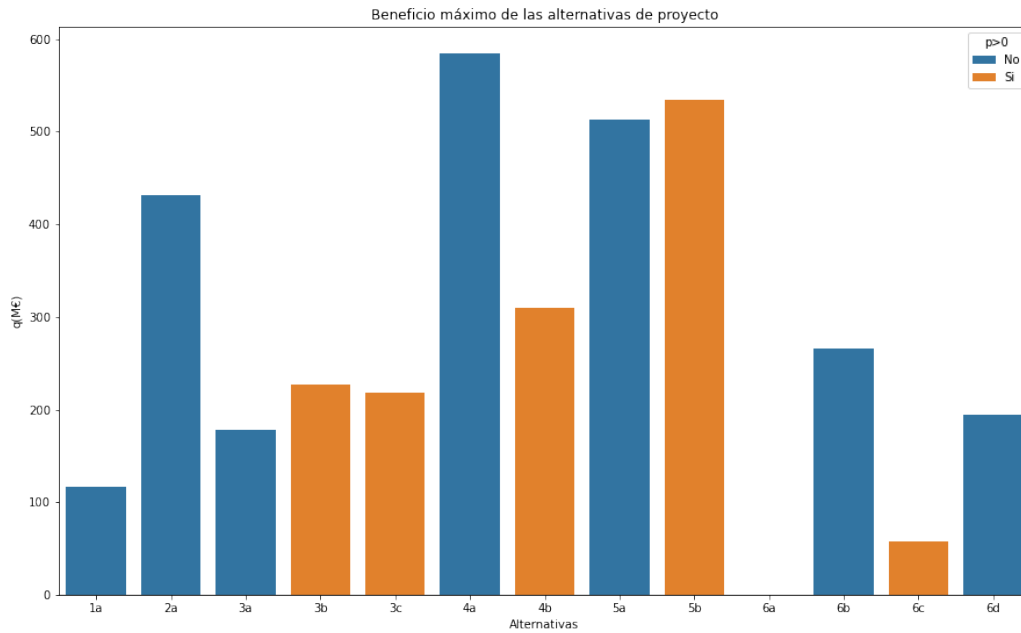


Figura 40. Beneficio máximo de las alternativas de proyecto. Fuente: Elaboración propia.

El valor neto de las alternativas se muestra en la figura 41, siendo este la suma del VPN más los beneficios obtenidos de los impactos sin valor de mercado. La alternativa que entrega el mayor valor neto es el "Puente principal de Java en stenen hoofd" (5b) con 1.058 millones de euros, seguido del "Puente principal de stenen hoofd" (4b) con 823 millones de euros, ambos con beneficios sociales debido a los precios de los impactos evaluados.

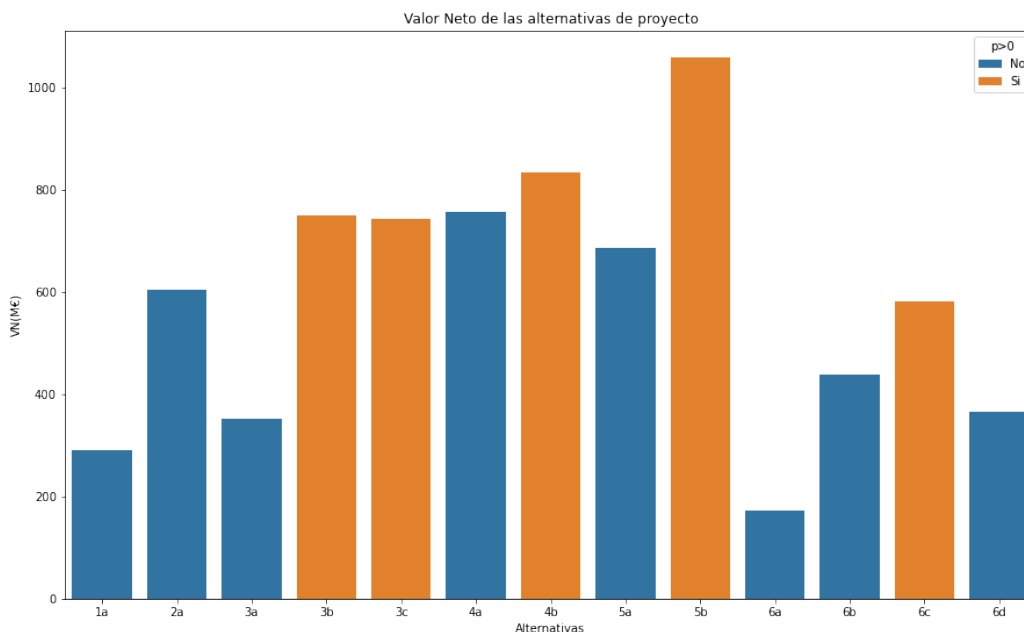


Figura 41. Valor Neto de las alternativas de proyecto. Fuente: Elaboración propia.

## 10.4. Conclusión de la evaluación de las alternativas de proyectos

Cuando se comparan los resultados del Beneficio máximo ( $q_k$ ) vs la relación B/C, en sus valores normalizados, la mayoría de las alternativas de proyecto mediante la propuesta para la evaluación de los impactos tienen una mejora en su priorización, a excepción de la alternativa "Puente principal de stenen hoofd" (4b) y Sixhaven (6a). La alternativa "Túnel principal de stenen hoofd" (4a) es la mejor evaluada en ambas evaluaciones, ver figura 42.

La alternativa de proyecto "Túnel principal de stenen hoofd" (4a) es la que genera un mayor beneficio social siendo la más eficiente y la Sixhaven (6a) es la que tiene un menor beneficio, siendo la más ineficiente.

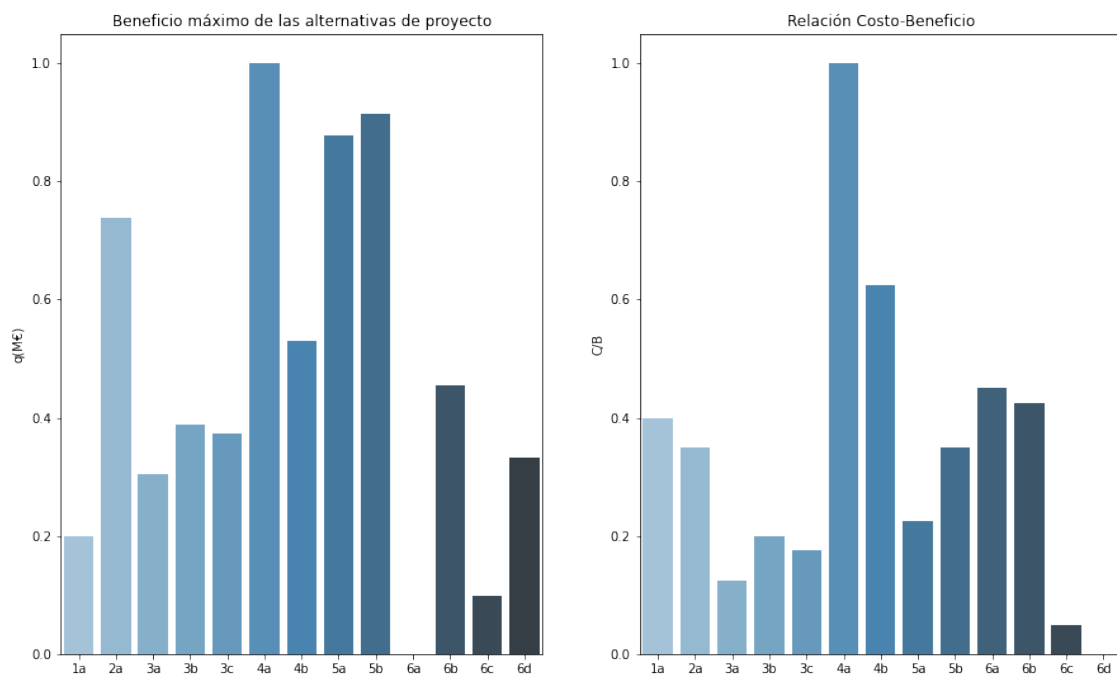


Figura 42.  $q_k$  vs B/C valores normalizados. Fuente: Elaboración propia.

La alternativa con el mayor valor neto es el "Puente principal de Java en stenen hoofd" (5b), debido al beneficio extra social por los impactos considerados, existiendo un aumento en su valor neto. Al comparar los resultados del VN vs

VPN, existe un aumento en el valor neto social en las alternativas de puentes, debido a los beneficios generados por los impactos Percepción de Seguridad y Seguridad Exterior, ver figura 43.

La alternativa de proyecto “Puente principal de Java en stenen hoofd” (5b) tiene el mayor valor neto social debido a las ganancias generadas por los impactos sin valor de mercado y la Sixhaven (6a) no ha tenido cambio en su valor neto.

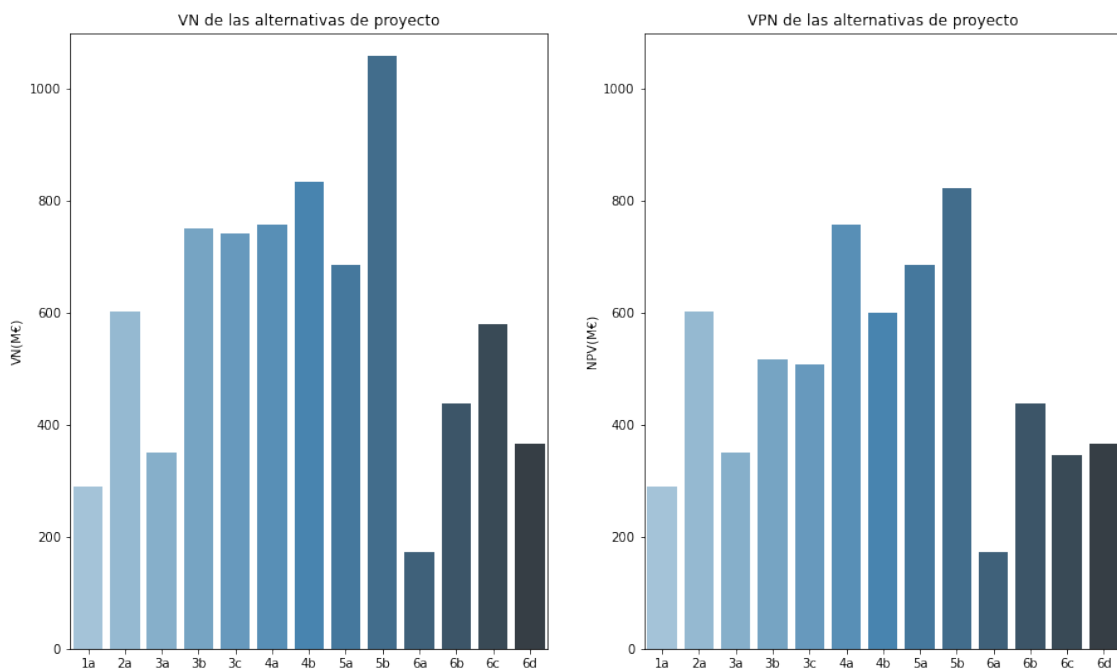


Figura 43 Valor Neto vs Valor Presente Neto. Fuente: Elaboración propia

La posible alternativa a seleccionar desde la perspectiva del beneficio social es el “Puente principal de Java en stenen hoofd” (5b), ya que es la que tiene un mayor beneficio máximo y presenta un mayor valor neto. El “Puente principal de stenen hoofd” (4b) podría ser otra alternativa factible, pero no ofrece un beneficio social extra por los impactos sin valor de mercado. Esto es posible debido a que en la primera etapa se han evaluado los impactos con valor de mercado, convirtiendo a la alternativa en escasamente eficiente socialmente.

## **10.5. La selección de la alternativa de proyecto en el IJ**

La finalidad de las alternativas de proyecto es conectar ambas partes de la ciudad de Ámsterdam, considerando algunos factores importantes para la ciudad. Para ellos se realizó un ACB social para la evaluación de las diferentes alternativas, las cuales eran de 6 tipos con diferentes variantes.

La consultora Decisio (Decisio, 2017a) menciona que el municipio de Ámsterdam optó realizar la alternativa "Optimización de los muelles" (1a). La justificación oficial es el relativo bajo coste de efectos financieros en comparación a las otras alternativas de proyecto, pero su contribución en beneficios sociales es menor. Al tener una inversión de 106 millones de euros se tiene una ganancia total de 290 millones de euros en beneficios netos totales según el ACB.

Para compensar los beneficios perdidos el municipio de Ámsterdam quiere realizar una alternativa de proyecto de puente que tienen mayores beneficios sociales, sus propuestas son realizarlo en la zona de "Java" (3b) con 516 millones de euros o bien en "Java en stenen hoofd" (5b) con 823 millones de euros en beneficios totales netos.

El tránsito marítimo para la ciudad de Ámsterdam es bastante importante, reflejándose en los impactos y alternativas de proyecto. Al considerar esta alternativa, que no es la de mayor beneficio social, se contribuye al aumento del tráfico marítimo en la ciudad de Ámsterdam. La alternativa no es la mejor para la conexión entre ambas partes de la ciudad, y por esta razón son necesarias otras medidas para compensar la movilidad de las personas escogiendo las alternativas de puentes que tienen un mayor aporte en beneficios sociales para complementar la alternativa marítima.

La decisión de elegir la alternativa de optimización de los muelles para la mejora del sistema de transbordadores como solución al problema, si bien no es una solución que aporte grandes beneficios sociales, va acorde a la dinámica de la ciudad. El método propuesto en esta tesis no la clasifica entre

las mejores, debido a que no aporta un beneficio social extra por la consideración de los impactos de no directa monetización sin valor de mercado en comparación al resto de alternativas evaluadas. El elegir la alternativa del "puente Java" (3b) y "Java en stenen hoofd" (5b) son decisiones acertadas al ser alternativas que aportan un mayor beneficio social.

Realizando un ejercicio de comparación tomando la ventaja del método propuesto en obtener precios (absolutos), se puede obtener una actualización de la relación B/C. En la figura 44 se muestra la comparación, dónde se aprecia que la alternativa "Optimización de los muelles" (1a) no ha sufrido cambios, pero el puente "Java" (3b) y el "Java en stenen hoofd" (5b) tienen un aumento en su relación B/C actualizada. Sin embargo, tal vez la elección de alternativas hubiera sido diferente ya que existen otras infraestructuras con beneficios sociales mayores.

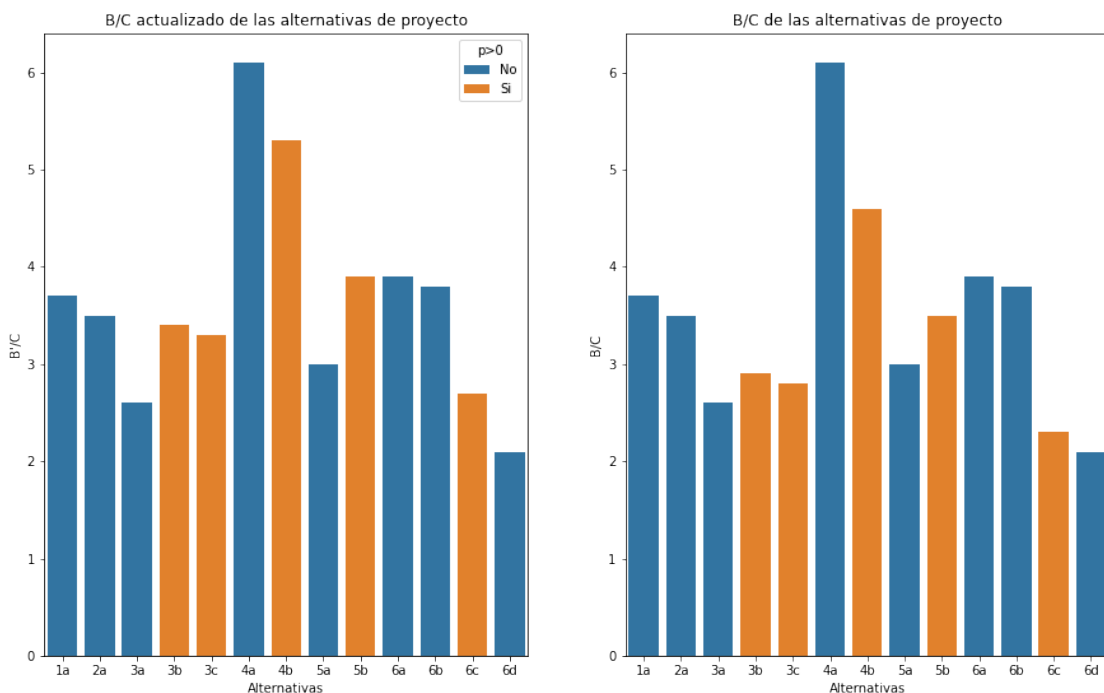


Figura 44. Comparación entre el B'/C vs B/C. Fuente: Elaboración propia.

Distinguir el tipo de infraestructura que aporta los mayores beneficios entre puentes o túneles no esta muy claro con el ACB, ya que los resultados de los túneles tienen un mayor beneficio en comparación a los puentes. El tener una

herramienta como el máximo beneficio ( $q_k$ ) es de ayuda para la toma de decisiones en las infraestructuras de transporte, ya que aclara que los puentes aportan ese máximo beneficio social en comparación con otras alternativas evaluadas.

## 10.6. Distribución de los resultados

En esta sección se analizarán los resultados para ver su distribución de valores. En la figura 45 se muestran los valores de  $q_k$  y B/C de las alternativas de proyecto. Lo primero es evaluar su tipo de distribución con una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Con el resultado se puede decir que tienen una distribución normal con una inclinación positiva.

Por el número de valores se aplica un t-test para conocer cómo de idénticas son las distribuciones y se comprueba con una prueba Kolmogorov-Smirnov, de las cuales resultaron en que se puede decir que son distribuciones similares.

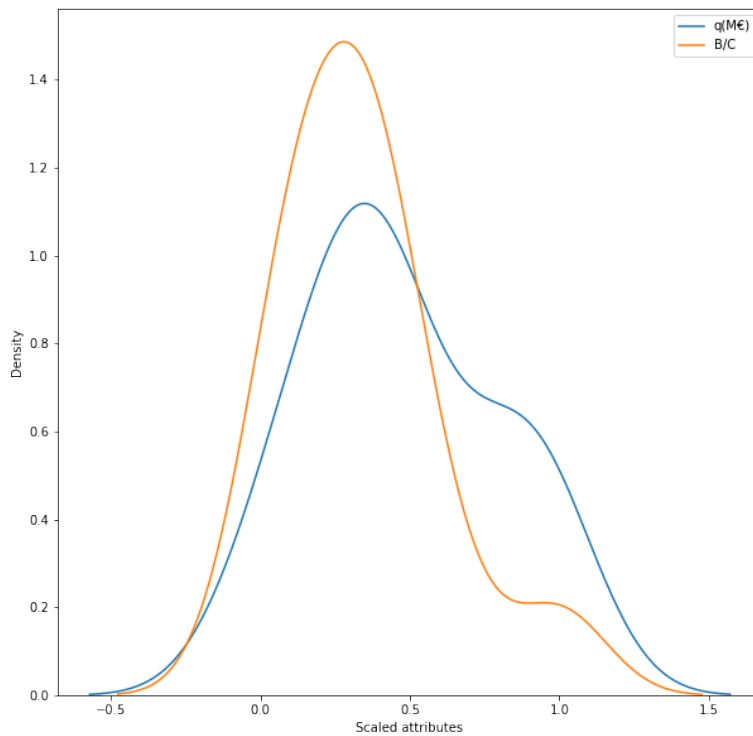


Figura 45 Distribución de q y B/C. Fuente: Elaboración propia.

La distribución de los datos es similar en ambas curvas, lo que indica que los resultados entre el valor de  $q$  y  $B/C$  son parecidos.

De igual manera, se analizaron los resultados para ver la distribución de los valores de VN y VPN de las alternativas de proyecto (figura 46). De igual manera se prueba su normalidad con una prueba Shapiro-Wilk y se puede decir que tienen una distribución normal con una inclinación positiva.

Realizando un t-test para conocer la similitud de las distribuciones se comprueba de la misma manera con una prueba Kolmogorov-Smirnov, resultando en que se puede decir que son distribuciones similares.

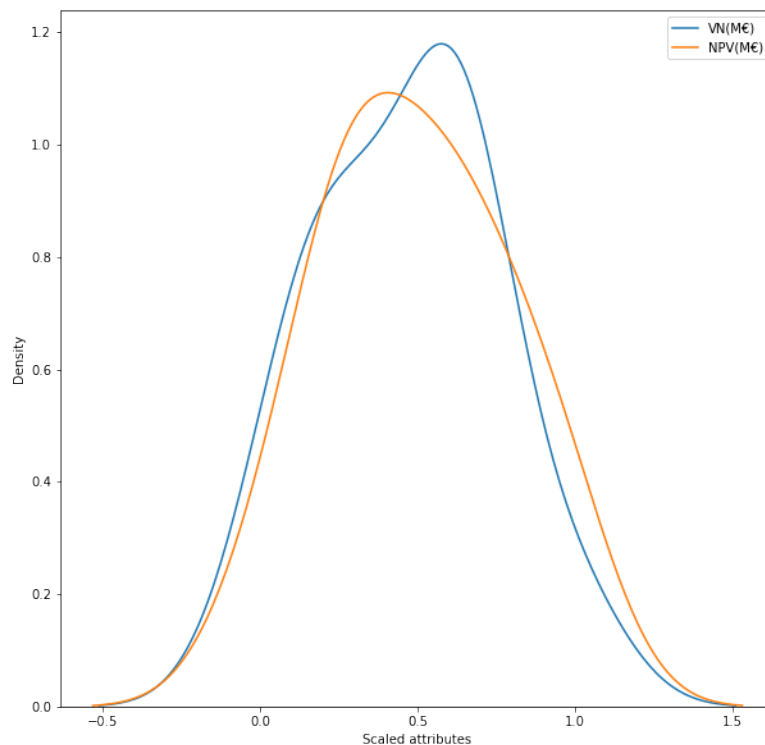


Figura 46 Distribución VN y VPN. Fuente: Elaboración propia.

La similitud en la distribución del VN y VPN es mucho más claro, con un aumento en los valores del VN debido a las ganancias por los beneficios de los impactos de no directa monetización sin valor de mercado.

# **11. CAPÍTULO 11: Conclusiones, limitaciones y líneas de futuro**

## **11.1. Conclusiones**

La creación de nuevas infraestructuras de transporte, o la mejora de las existentes tiene un objetivo: la mejora de la movilidad de sus usuarios ante su sobrecarga producto del crecimiento de estos. La idea de la relación entre las infraestructuras de transporte y el crecimiento económico provienen de los impactos generados por parte de la infraestructura creando un cambio positivo en el bienestar de la sociedad. La evaluación del estudio de los impactos en las infraestructuras de transporte se ha centrado en el análisis de impactos con un valor de mercado, como la mejora del tiempo de viaje.

La evaluación de proyectos de infraestructura de transporte ha tenido una evolución en los impactos que considera, mostrando una creciente concienciación hacia impactos ambientales e impactos sociales en las últimas dos décadas, algunos con una asignación de valor de mercado. Lo cual tiene relación con la importancia que se le ha dado por parte de las políticas públicas.

Los impactos sociales son menos considerados, pero recientemente se ha puesto atención a su cuantificación. De esta manera, se busca considerar los aspectos económicos, ambientales y sociales, con el objetivo de seleccionar la infraestructura que otorgue el máximo beneficio social para justificar su inversión en un presupuesto limitado.



Sin embargo, existen impactos con dificultades para ser convertidos a términos monetarios, para conocer las ganancias sociales del proyecto realizando el descuento de costes y beneficios. Esto ha dificultado su uso en la valoración de proyectos. El no considerar estos impactos puede resultar en una reducción del bienestar de la sociedad, ya que no ayudan a corregir las desigualdades existentes o que la localización de las inversiones de transporte sea justa.

Para lograr sistemas de transporte más sostenibles es importante evaluar los impactos sociales producidos por las infraestructuras de transporte, pero las actuales herramientas de evaluación no se han adaptado lo suficiente al cambio que ha surgido en las políticas y objetivos de la planificación del transporte. El cambio de bienestar no solamente puede ser medido económicamente sino, también mediante el cambio de la calidad de vida que puedan ofrecer a las personas los nuevos proyectos de infraestructura de transporte.

Las actuales guías para la implementación de la evaluación de infraestructuras de transporte tienen al ACB como herramienta principal, con impactos propuestos totalmente cuantificables o de fácil cuantificación con precios de mercado. Algunas pautas mencionan brevemente impactos de no directa monetización, pero sin dar algún tipo de descripción, aunque las más recientes dan una breve reseña. Un mayor estudio de los impactos de no directa monetización para su cuantificación abre el camino para la aceptación de sus metodologías y que en un futuro se puedan ir incluyendo en las pautas para evaluación de proyectos.

Sus resultados sencillos y fáciles de interpretar han situado al ACB como la herramienta más utilizada en la evaluación de proyectos de infraestructuras de transporte. Las críticas provienen en su énfasis en la consideración de impactos económicos cuantificables como el ahorro del tiempo de viaje, sin embargo, la mayor crítica proviene de su fundamento de distribución de beneficios. En el resultado del ACB mientras que los beneficios superen a los costes ese proyecto se clasifica como viable sin considerar a quienes se les beneficia o afecta.

Una parte de los investigadores de evaluación de proyectos de transporte, recomiendan que la evaluación de impactos de no directa monetización sin valor de mercado se realice con otro tipo de análisis, por lo regular MCA, y los resultados sean un complemento del CBA. La evaluación realizada por estos métodos no se basa en precios absolutos sino precios de importancia relativa. Además, al realizar un análisis complementario, los resultados pueden ser considerados o no en la toma de decisión. Los impactos de no directa monetización han demostrado que tienen gran repercusión y deben ser considerados en la evaluación principal de los proyectos de infraestructura de transporte.

La propuesta presentada es una alternativa de evaluación de proyectos de infraestructura de transporte que consta de dos etapas. En la primera se realizan los pasos iniciales del ACB, obteniendo el VPN de los impactos con valor de mercado y se cuantifican los impactos sin valor de mercado. En la segunda fase mediante la resolución de un problema de programación lineal se realiza una asignación de precios a los impactos sin valor de mercado. Los precios son absolutos por lo que se puede obtener el valor neto actualizado de las alternativas de proyecto.

Con la solución del problema de programación lineal se obtiene el máximo beneficio ( $q_k$ ) y los precios de mercado ( $z_k$ ), y con estos se puede obtener el valor neto actualizado de las alternativas de proyecto. El parámetro principal para clasificar las alternativas de proyecto es la ( $q_k$ ) que compara los beneficios máximos de las alternativas con el resto. Además, se obtiene el valor neto (VN) que es el beneficio social actualizado de la infraestructura al considerar los impactos sin valor de mercado que puede ser un factor para la toma de decisión.

La propuesta aborda el problema de asignación de precios mediante la eficiencia de Pareto-Koopmans, donde se plantea la selección de una alternativa de proyecto solo si es eficiente desde el punto de vista del incremento de bienestar a la sociedad. Se consideran los impactos sin valor de mercado mediante la internalización de estos a través de la técnica propuesta para conocer el beneficio de la inversión. Con la internalización de los

impactos dentro de la técnica se evita imponer precios, el principal motivo por el cual algunos impactos no son considerados a pesar de encontrarse formas de cuantificarse.

El resultado de la propuesta identifica las alternativas de proyecto que generan un mayor bienestar y son más eficientes desde el punto de vista social, resaltando la importancia de considerar los impactos sin valor de mercado en la evaluación de proyectos. La consideración de los impactos sin valor de mercado puede cambiar el panorama en la evaluación de las alternativas de proyecto, ya que en ocasiones estos son los que definen la entrega del mayor beneficio a la sociedad.

El caso de estudio muestra las alternativas que ofrecen mayores beneficios sociales, lo que ayuda a los tomadores de decisiones a informarse mejor. Se demuestra la importancia de considerar los impactos de no directa monetización, sobre todo los de naturaleza social, que no se consideran en el CBA debido a su falta de valor de mercado.

En el proceso de toma de decisiones no siempre se selecciona la alternativa con el mayor parámetro de bienestar. El proceso de toma de decisión es un proceso complejo, por lo que esta herramienta puede ayudar a aclarar el panorama de los beneficios sociales generados por las alternativas evaluadas. Tampoco se trata de considerar todos los impactos, pero si los que pueden ser los más relevantes para el proyecto.

En el caso de estudio se realizan algunas suposiciones ante la falta de información para cuantificar los impactos de no directa monetización. A pesar de esto, los resultados sugieren que la propuesta para la evaluación de proyectos de infraestructuras de transporte en dos etapas con impactos de no directa monetización puede ser una herramienta útil.

Se ha presentado un nuevo enfoque para la evaluación de proyectos en infraestructuras de transporte mediante una combinación en dos etapas del ACB y el DEA. Se reinterpreta la eficiencia calculada en el DEA como una eficiencia económica con valores absolutos que puede ser utilizada para la

evaluación de las alternativas de proyecto ante impactos de no directa monetización sin valor de mercado. Como existen dos parámetros para la toma de decisión, además se informa a los responsables de dicha toma de decisión sobre las alternativas que tienen una mayor rentabilidad social.

## **11.2. Limitantes de la investigación**

La realización de esta investigación ha tenido como principal limitante la disponibilidad y accesibilidad de los datos para realizar el estudio. La posibilidad de contar con información suficiente y de calidad, es el mayor hándicap para un trabajo de este tipo, limitando la extensión y el desarrollo que puede alcanzar una investigación.

La falta de obtención de datos cuantificados de impactos de no directa monetización es un limitante para comparar con mayor claridad los resultados de la propuesta de análisis planteada con la toma de decisión realizada en el caso real.

## **11.3. Línea de investigación futura.**

Una futura investigación pasaría por cuantificar un impacto de no directa monetización, dentro de un proyecto analizado mediante ACB para poder comparar los resultados y la decisión tomada. Si bien esta investigación contribuye a la literatura existente para la evaluación de proyectos de infraestructuras de transporte, se espera que sirva como base para poder integrar en la evaluación de proyectos de infraestructura los impactos de no directa monetización suelen no ser considerados.

## 12. Bibliografía

- Abduljabbar, R. L., Liyanage, S., & Dia, H. (2021). The role of micro-mobility in shaping sustainable cities: A systematic literature review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 92(February), 102734. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102734>
- Acciaro M., Vassalo J. M., Dalton G., & Pena E. de la. (2017). *Transport Infrastructure Expert group report*.
- Ackerman, F., & Heinzerling, L. (2002). Pricing the priceless: Cost-benefit analysis of environmental protection. *University of Pennsylvania Law Review*, 150(5), 1553-1584. <https://doi.org/10.2307/3312947>
- Aloui, A., Hamani, N., Derrouiche, R., & Delahoche, L. (2021). Systematic literature review on collaborative sustainable transportation: overview, analysis and perspectives. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100291>
- Annema, J. A., Koopmans, C., & Van Wee, B. (2007). Evaluating transport infrastructure investments: The Dutch experience with a standardized approach. *Transport Reviews*, 27(2), 125-150. <https://doi.org/10.1080/01441640600843237>
- Awasthi, A., Omrani, H., & Gerber, P. (2018). Investigating ideal-solution based multicriteria decision making techniques for sustainability evaluation of urban mobility projects. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 116(June), 247-259. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.06.007>
- Banister, D. (2011). Cities, mobility and climate change. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1538-1546. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.03.009>
- Banks, R. (2000). Ex-Ante-Evaluations: Strengths, weaknesses and opportunities. *Evaluation for Quality*, September, 18-19.
- Bardal, K. G., & Mathisen, T. A. (2015). Winter problems on mountain passes - Implications for cost-benefit analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 74, 59-72. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.02.007>

- Berechman, J. (2009). The Evaluation of Transportation Investment Projects. In *Advances in Management and Business Studies*. Routledge.
- Beukers, E., Bertolini, L., & Te Brömmelstroet, M. (2012). Why Cost Benefit Analysis is perceived as a problematic tool for assessment of transport plans: A process perspective. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(1), 68-78. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.09.004>
- Boadway, R. (2006). Principles of Cost-Benefit Analysis. *Public Policy Review*, 2(1), 1-44. [https://www.mof.go.jp/english/pri/publication/pp\\_review/ppr002/ppr002a.pdf](https://www.mof.go.jp/english/pri/publication/pp_review/ppr002/ppr002a.pdf)
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2018). *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice* (5th ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/DOI: 10.1017/9781108235594>
- Boardman, A. E., Mallery, W. L., & Vining, A. R. (1994). Learning from ex ante/ex post cost-benefit comparisons: the coquihalla highway example. *Socio-Economic Planning Sciences*, 28(2), 69-84. [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(94\)90007-8](https://doi.org/10.1016/0038-0121(94)90007-8)
- Börjesson, M., Jonsson, R. D., & Lundberg, M. (2014). An ex-post CBA for the Stockholm Metro. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 70, 135-148. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.10.006>
- Bristow, A. ., & Nellthorp, J. (2000). Transport project appraisal in the European Union. *Transport Policy*, 7(1), 51-60. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(00\)00010-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0967-070X(00)00010-X)
- Bröcker, J. (2013). Wider economic benefits from communication-cost reductions: An endogenous growth approach. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(6), 971-986. <https://doi.org/10.1068/b38207>
- Broniewicz, E., & Ogrodnik, K. (2020). Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83(April), 102351. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102351>
- Bueno Cadena, P. C., & Vassallo Magro, J. M. (2015). Setting the weights of sustainability criteria for the appraisal of transport projects. *Transport*, 30(3), 298-306. <https://doi.org/10.3846/16484142.2015.1086890>
- Burger, P., & Hawkesworth, I. (2011). How To Attain Value for Money: Comparing PPP and Traditional Infrastructure Public Procurement by.

- OECD Journal on Budgeting*, 2011(1), 1-56.  
<https://doi.org/10.1787/16812336>
- Calthrop, E., De Borger, B., & Proost, S. (2010). Cost-benefit analysis of transport investments in distorted economies. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(7), 850-869.  
<https://doi.org/10.1016/j.trb.2009.12.011>
- Castro-Nuño, M., & Arévalo-Quijada, M. T. (2018). Assessing urban road safety through multidimensional indexes: Application of multicriteria decision making analysis to rank the Spanish provinces. *Transport Policy*, 68(April), 118-129. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.04.017>
- Caulfield, B., Bailey, D., & Mullarkey, S. (2013). Using data envelopment analysis as a public transport project appraisal tool. *Transport Policy*, 29, 74-85. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.04.006>
- Cavill, N., Kahlmeier, S., Rutter, H., Racioppi, F., & Oja, P. (2008). Economic analyses of transport infrastructure and policies including health effects related to cycling and walking: A systematic review. *Transport Policy*, 15(5), 291-304. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2008.11.001>
- Centobelli, P., Cerchione, R., & Esposito, E. (2017). Environmental sustainability in the service industry of transportation and logistics service providers: Systematic literature review and research directions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 53, 454-470. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.032>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Chi, S., & Bunker, J. (2020). An Australian perspective on real-life cost-benefit analysis and assessment frameworks for transport infrastructure investments. *Research in Transportation Economics*, August, 100946. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100946>
- Coelli, T. (1996). A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. *CEPA Working Paper 96/08*, 1994, 1-49.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2006). Introduction to data envelopment analysis and its uses: With DEA-solver software and references. In *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses: With DEA-Solver Software and References*. Springer. <https://doi.org/10.1007/0->

- Cornet, Y., Barradale, M. J., Barfod, M. B., & Hickman, R. (2018). Giving current and future generations a real voice: a practical method for constructing sustainability viewpoints in transport appraisal. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 18(3), 316-339. <https://doi.org/10.18757/ejtir.2018.18.3.3244>
- Dai, Q., Li, Y., Lei, X., & Wu, D. (2021). A DEA-based incentive approach for allocating common revenues or fixed costs. *European Journal of Operational Research*, 292(2), 675-686. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.11.006>
- De Rus, G., Betancor, O., Campos, J., Socorro, P., Matas, A., & Raymond, J. L. (2010). *Evaluación Económica de Proyectos de Transporte*. Decisio. (2017). *Sprong over het IJ*. [www.amsterdam.nl/sprongoverhetij](http://www.amsterdam.nl/sprongoverhetij)
- Demir, E., Huang, Y., Scholts, S., & Van Woensel, T. (2015). A selected review on the negative externalities of the freight transportation: Modeling and pricing. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 77, 95-114. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.02.020>
- Department of Transport. (2016). *Understanding and Valuing Impacts of Transport Investment; Updating Wider Economic Impacts*.
- Department of Transport. (2018). *Transport Analysis Guidance - Unit A1.1 Cost-Benefit Analysis*. May.
- Diamond, J. (2005). Establishing a Performance Management Framework for Government. *IMF Working Papers*, 05(50), 1. <https://doi.org/10.5089/9781451860696.001>
- Dimitriou, H. T., Ward, E. J., & Dean, M. (2016). Presenting the case for the application of multi-criteria analysis to mega transport infrastructure project appraisal. *Research in Transportation Economics*, 58, 7-20. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2016.08.002>
- Dorfman, R., Samuelson, P. A., & Solow, R. M. (1987). *Linear Programming and Economic Analysis*. Dover Publications. [https://books.google.es/books?id=k5\\_vzaCNQP4C](https://books.google.es/books?id=k5_vzaCNQP4C)
- Doumpos, M., & Zopounidis, C. (2002). *Multicriteria Decision Aid Classification Methods* (Springer Science & Business Media (ed.)). Kluwer Academic Publishers. [https://books.google.com.mx/books?id=4-LyO3t\\_VOMC](https://books.google.com.mx/books?id=4-LyO3t_VOMC)
- Du, J., Cook, W. D., Liang, L., & Zhu, J. (2014). Fixed cost and resource



- allocation based on DEA cross-efficiency. *European Journal of Operational Research*, 235(1), 206-214. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.002>
- ECA. (2018). *Towards a successful transport sector in the EU: challenges to be addressed*.
- El-Geneidy, A., Levinson, D., Diab, E., Boisjoly, G., Verbich, D., & Loong, C. (2016). The cost of equity: Assessing transit accessibility and social disparity using total travel cost. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 91, 302-316. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.07.003>
- Elbert, R., Müller, J. P., & Rentschler, J. (2020). Tactical network planning and design in multimodal transportation - A systematic literature review. *Research in Transportation Business and Management*, 35(March), 100462. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100462>
- Eliasson, J., & Fosgerau, M. (2019). Cost-benefit analysis of transport improvements in the presence of spillovers, matching and an income tax. *Economics of Transportation*, 18(September 2017), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2019.02.001>
- Emberger, G., Shepherd, S. P., & May, A. D. (2008). The effects of appraisal methodology on the specification of optimal urban transport strategies. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2(1), 58-75. <https://doi.org/10.1080/15568310701517067>
- European Commission. (2017). *Glossary - Regional Policy*. European Commission. [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/en/policy/what/glossary/e/evaluation](https://ec.europa.eu/regional_policy/en/policy/what/glossary/e/evaluation)
- European Commission. (2011). *White Paper: Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource efficient transport system*.
- European Commission. (2014). Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects: Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020. In *Publications Office of the European Union* (Issue December). <https://doi.org/10.2776/97516>
- European Commission. (2019). Handbook on the External Costs of Transport. In *European Commission*. <https://www.cedelft.eu/en/publications/2311/handbook-on-the-external-costs-of-transport-version-2019>
- European Investment Bank. (2005). *RAILPAG*:

- European Parliament. (2019). *Research for TRAN Committee - EU funding of transport projects. July.*
- Fang, S., & Wakabayashi, H. (2012). Cost-benefit Analysis for Traffic Network Reliability Improvement. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 696-705. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.787>
- Färe, R., Grabowski, R., Grosskopf, S., & Kraft, S. (1997). Efficiency of a fixed but allocatable input: A non-parametric approach 1. In *Economics Letters* (Vol. 56).
- Färe, R., Grosskopf, S., & Margaritis, D. (2011). The diet problem and DEA. *Journal of the Operational Research Society*, 62(7), 1420-1422. <https://doi.org/10.1057/jors.2010.113>
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. In *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* (Vol. 120, Issue 3, p. 253). <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Fay, M., Lee, H., Mastruzzi, M., Han, S., & Cho, M. (2019). Hitting the Trillion Mark -- A Look at How Much Countries Are Spending on Infrastructure. *World Bank Policy Research Working Paper*, 8730.
- Feick, R., & Roche, S. (2013). Understanding the value of Transport Infrastructure. *International Transportation Forum Task Force Report 2013*, 15-29.
- Filippi, F., Nuzzolo, A., Comi, A., & Delle Site, P. (2010). Ex-ante assessment of urban freight transport policies. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6332-6342. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.04.042>
- Fraser, S. D. S., & Lock, K. (2011). Cycling for transport and public health: A systematic review of the effect of the environment on cycling. *European Journal of Public Health*, 21(6), 738-743. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckq145>
- Geurs, K. T., Boon, W., & Van Wee, B. (2009). Social impacts of transport: Literature review and the State of the practice of transport appraisal in the Netherlands and the United Kingdom. *Transport Reviews*, 29(1), 69-90. <https://doi.org/10.1080/01441640802130490>
- Ghazi, A., & Hosseinzadeh Lotfi, F. (2019). Assessment and budget allocation of Iranian natural gas distribution company- A CSW DEA based model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 66, 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.07.009>

- Google. (2005). Google Maps.  
<https://www.google.com/maps/@52.3911912,4.9009268,13.63z>
- Graham, D. J., & Gibbons, S. (2019). Quantifying Wider Economic Impacts of agglomeration for transport appraisal: Existing evidence and future directions. *Economics of Transportation*, 19(July 2018), 100121.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2019.100121>
- Grimsey, D., & Lewis, M. (2005). Are Public Private Partnerships value for money?: Evaluating alternative approaches and comparing academic and practitioner views. *Accounting Forum*, 29(4), 345-378.  
<https://doi.org/10.1016/j.accfor.2005.01.001>
- Grimsey, D., & Lewis, M. K. (2002). *Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects*. 20, 107-118.
- Grimsey, D., & Lewis, M. K. (2004). *Public Private Partnerships: The Worldwide Revolution in Infrastructure Provision and Project Finance*. Edward Elgar Publishing Limited.
- Gühnemann, A., Laird, J. J., & Pearman, A. D. (2012). Combining cost-benefit and multi-criteria analysis to prioritise a national road infrastructure programme. *Transport Policy*, 23, 15-24.  
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.05.005>
- Gunasekaran, A., Subramanian, N., & Papadopoulos, T. (2017). Information technology for competitive advantage within logistics and supply chains: A review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 99, 14-33. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.12.008>
- Guzman, L. A., de la Hoz, D., & Monzón, A. (2014). Optimal and Long-Term Dynamic Transport Policy Design: Seeking Maximum Social Welfare through a Pricing Scheme. *International Journal of Sustainable Transportation*, 8(4), 297-316.  
<https://doi.org/10.1080/15568318.2012.696772>
- Heald, D., & Georgiou, G. (2011). THE SUBSTANCE OF ACCOUNTING FOR PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIPS. *Financial Accountability & Management*, 27(2), 217-247. <https://doi.org/10.3141/2288-05>
- HM Treasury. (2003). *PFI: meeting the investment challenge*. July, 128.
- Ho, C. Q., Hensher, D. A., & Ellison, R. (2017). Endogenous treatment of residential location choices in transport and land use models: Introducing the MetroScan framework. *Journal of Transport Geography*, 64(April), 120-

131. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.08.021>
- Ilzkovitz, F., & Dierx, A. (2015). *Ex-post economic evaluation of competition policy enforcement : A review of the literature.*
- Illgen, S., & Höck, M. (2019). Literature review of the vehicle relocation problem in one-way car sharing networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 120, 193-204. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.12.006>
- Izquierdo de Bartolomé, R., & Vassallo Magro, J. M. (2010). *infraestructura Pública y Participación Privada Conceptos y experiencias en América y España.*
- Jafarzadeh, H., Akbari, P., & Abedin, B. (2018). A methodology for project portfolio selection under criteria prioritisation, uncertainty and projects interdependency - combination of fuzzy QFD and DEA. *Expert Systems with Applications*, 110, 237-249. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.05.028>
- Jensen, T. C., & Møller, F. (2010). Incorporating the value of changes in price volatility into cost-benefit analysis-an application to oil prices in the transport sector. *Energy Policy*, 38(1), 573-579. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.009>
- Jiang, H., Wu, J., Chu, J., & Liu, H. (2020). Better resource utilization: A new DEA bi-objective resource reallocation approach considering environmental efficiency improvement. *Computers and Industrial Engineering*, 144. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106504>
- Johansen, B. G., & Hansen, W. (2016). Predicting Market Allocations, User Benefits and Wider Economic Impacts of Large Infrastructure Investments for Freight Transportation. *Transportation Research Procedia*, 16(2352), 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.015>
- Johansson, E., Anund, A., & Koglin, T. (2019). Appraisal of a regional public transport project: A document and interview analysis on a light rail case in Sweden. *Case Studies on Transport Policy*, 7(2), 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.04.007>
- Johansson, E., Winslott Hiselius, L., Koglin, T., & Wretstrand, A. (2017). Evaluation of public transport: regional policies and planning practices in Sweden. *Urban, Planning and Transport Research*, 5(1), 59-77. <https://doi.org/10.1080/21650020.2017.1395291>
- Jones, H. L., Moura, F., & Domingos, T. (2018). Transportation Infrastructure

- Project Evaluation: Transforming CBA to Include a Life Cycle Perspective. *World Sustainability Series*, 745-771. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-63007-6\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63007-6_46)
- Jones, H., Moura, F., & Domingos, T. (2014). Transport Infrastructure Project Evaluation Using Cost-benefit Analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111, 400-409. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.073>
- Jong, G. de, Vignetti, S., & Pancotti, C. (2019). Ex-post evaluation of major infrastructure projects. *Transportation Research Procedia*, 42, 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.12.008>
- Kellermann, R., Biehle, T., & Fischer, L. (2020). Drones for parcel and passenger transportation: A literature review. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 4, 100088. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2019.100088>
- Koglin, T., & Rye, T. (2014). The marginalisation of bicycling in Modernist urban transport planning. *Journal of Transport and Health*, 1(4), 214-222. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2014.09.006>
- Krupa, J., Bridges, D., & Hunter, R. (2001). *Guidebook to Decision-Making Methods DECISION-MAKING* (Issue December).
- Kuipers, B., & Wouter, J. (2011). Ex Post Evaluation of Rotterdam Port Investment. In W. Manshanden & W. Jonkhoff (Eds.), *Infrastructure Productivity Evaluation* (pp. 47-64). SpringerBriefs in Economics.
- Laird, J. J., & Venables, A. J. (2017). Transport investment and economic performance: A framework for project appraisal. *Transport Policy*, 56(January), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.02.006>
- Lakshmanan, T. . (2008). THE WIDER ECONOMIC BENEFITS OF TRANSPORTATION. In *THE WIDER ECONOMIC BENEFITS OF TRANSPORT* (p. 204). OECD Publishing.
- Lawrence, M., Nguyen, P., Skolnick, J., Hunt, J., & Alfelor, R. (2014). Road Weather Management Benefit Cost Analysis Compendium. In *FHWA-HOP-14-033*.
- Le Pira, M., Marcucci, E., Gatta, V., Inturri, G., Ignaccolo, M., & Pluchino, A. (2017). Integrating discrete choice models and agent-based models for ex-ante evaluation of stakeholder policy acceptability in urban freight transport. *Research in Transportation Economics*, 64, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2017.08.002>

- Legaspi, J., Hensher, D., & Wang, B. (2015). Estimating the wider economic benefits of transport investments: The case of the Sydney North West Rail Link project. *Case Studies on Transport Policy*, 3(2), 182-195. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2015.02.002>
- Lowe, C., Stanley, J., & Stanley, J. (2018). A broader perspective on social outcomes in transport. *Research in Transportation Economics*, 69, 482-488. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2018.03.006>
- Lu, C., & Morrell, P. (2006). Determination and Applications of Environmental Costs at Different Sized Airports - Aircraft Noise and Engine Emissions. *Transportation*, 33(1), 45-61. <https://doi.org/10.1007/s11116-005-2300-y>
- Luchetta, G. (2012). Impact assessment and the policy cycle in the EU. *European Journal of Risk Regulation*, 3(4), 561-575. <https://doi.org/10.1017/S1867299X00002476>
- Luo, M., Fan, H., & Liu, G. (2021). A target-oriented DEA model for regional construction productive efficiency improvement in China. *Advanced Engineering Informatics*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101208>
- Macharis, C., & Bernardini, A. (2015). Reviewing the use of multi-criteria decision analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach. *Transport Policy*, 37, 177-186. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.11.002>
- Mackie, P., Graham, D. J., & Laird, J. (2011). The direct and wider impacts of transport projects: a review. In A. de Palma, R. Lindsey, E. Quinet, & R. Vickerman (Eds.), *A Handbook of Transport Economics*. Edward Elgar Publishing, Incorporated. <https://books.google.es/books?id=VvkwDatL3YAC>
- Mackie, P., Worsley, T., & Eliasson, J. (2014). Transport appraisal revisited. *Research in Transportation Economics*, 47(1), 3-18. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2014.09.013>
- Manzo, S., Dong, Y., Miraglia, S., & Salling, K. B. (2018). *How the inclusion of life cycle impacts affects transport cost-benefit analysis.pdf*. 18(18).
- Martin, H. (2013). Value-for-money analysis—practices and challenges: how governments choose when to use PPP to deliver public infrastructure and services. *World Bank Intitute*, 1-32.
- Masiero, L., & Maggi, R. (2012). Estimation of indirect cost and evaluation of protective measures for infrastructure vulnerability: A case study on the

- transalpine transport corridor. *Transport Policy*, 20, 13-21.  
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.10.002>
- Mendizabal, A., Miera, K., & Mitxeo, J. (2000). *Modelos de financiación de infraestructura sin repercusión sobre el presupuesto público.pdf*.
- Meunier, D., Quinet, A., & Quinet, E. (2014). Project Appraisal and Long Term Strategic Vision. *Transportation Research Procedia*, 1(1), 67-76.  
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.07.008>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *BMJ (Online)*, 339(7716), 332-336. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>
- Neilson, A., Indratmo, Daniel, B., & Tjandra, S. (2019). Systematic Review of the Literature on Big Data in the Transportation Domain: Concepts and Applications. *Big Data Research*, 17, 35-44.  
<https://doi.org/10.1016/j.bdr.2019.03.001>
- Nguyen, T., Cook, S., Ireland, V., & Gunawan, I. (2017). A hybrid approach to Cost-Benefit Analysis in transport infrastructure projects. *Proceedings - 2017 International Conference on System Science and Engineering, ICSSE 2017*, 569-574. <https://doi.org/10.1109/ICSSE.2017.8030939>
- Nickel, J., Ross, A. M., & Rhodes, D. H. (2009). *Comparison of Project Evaluation Using Cost-Benefit Analysis and Multi-Attribute Tradespace Exploration in the Transportation Domain. August 2014*, 14.  
[http://seari.mit.edu/documents/preprints/NICKEL\\_ESD09.pdf](http://seari.mit.edu/documents/preprints/NICKEL_ESD09.pdf)
- Nilsson, M., Jordan, A., Turnpenny, J., Hertin, J., Nykvist, B., & Russel, D. (2008). The use and non-use of policy appraisal tools in public policy making: An analysis of three European countries and the European Union. *Policy Sciences*, 41(4), 335-355. <https://doi.org/10.1007/s11077-008-9071-1>
- Nunes, P. A. L. D., & Trivisi, C. M. (2007). Rail noise-abatement programmes: A stated choice experiment to evaluate the impacts on welfare. *Transport Reviews*, 27(5), 589-604. <https://doi.org/10.1080/01441640701322693>
- NZ Transport Agency. (2015). *Cost Estimation Manual*.
- NZ Transport Agency. (2020a). *Land transport benefits framework and management approach guidelines*.
- NZ Transport Agency. (2020b). *Non-monetised benefits manual* (Issue July).
- NZ Treasury. (2015). *Guide to Social Cost Benefit Analysis* (Issue July).  
<http://www.treasury.govt.nz/publications/guidance/planning/costbenefit>

analysis/guide/

- Odeck, J., & Kjerkreit, A. (2019). The accuracy of benefit-cost analyses (BCAs) in transportation: An ex-post evaluation of road projects. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 120(January), 277-294. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.023>
- Odgaard, T., Kelly, C., & Laird, J. (2005). Current practice in project appraisal in Europe Analysis of country reports. In *Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO)* (Issue 2005). <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Developing+Harmonised+European+Approaches+for+Transport+Costing+and+Project+Assessment#0>
- OECD. (2008). Public-Private Partnerships IN PURSUIT OF RISK SHARING AND VALUE FOR MONEY. In *OECD Publications*. <https://doi.org/10.1787/9789264046733-en>
- OECD. (2015). *OECD Regulatory Policy Outlook 2015*. OECD Publishing.
- OECD. (2016a). *Investment in transport infrastructure – European Environment Agency*. Transport Statistics. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/infrastructure-investments/assessment-3>
- OECD. (2016b). *Reference guide on ex-post evaluation of competition agencies' enforcement decisions*. April.
- OECD. (2018a). *Cost-benefit analysis and the environment: Further Developments and policy use*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.2307/2235480>
- OECD. (2018b). *Ex-post assessment of regulation: Practices and lessons from OECD countries*. OECD Publishing.
- OECD. (2019a). *GDP and spending - Investment by asset - OECD Data*. <https://data.oecd.org/gdp/investment-by-asset.htm#indicator-chart>
- OECD. (2019b). Regulatory policy and governance. In *Government at a Glance: Latin America and the Caribbean 2017*. <https://doi.org/10.1787/g24b075282-en>
- OECD. (2019c). Budgeting and Public Expenditures in OECD Countries 2019. In *Budgeting and Public Expenditures in OECD Countries 2019*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264307957-en>
- OECD. (2020). Supporting Better Decision-Making in Transport Investment in



- Spain. In *Supporting Better Decision-Making in Transport Investment in Spain*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/310e365e-en>
- Peng, W., Cui, Q., Lu, Y., & Huang, L. (2014). Achieving Value for Money: An Analytic Review of Studies on Public Private Partnerships. *Construction Research Congress 2014*, 1189-1198. <https://doi.org/10.1061/9780784413517.176>
- Pullin, A. S., & Stewart, G. B. (2006). Guidelines for systematic review in conservation and environmental management. *Conservation Biology*, 20(6), 1647-1656. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00485.x>
- Rothengatter, W. (2017). Wider economic impacts of transport infrastructure investments: Relevant or negligible? *Transport Policy*, 59(July), 124-133. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.07.011>
- SAIT. (2015). *Sistema d'Avaluació d'Inversions en Transport (SAIT)*.
- Samset, K., & Christensen, T. (2017). Ex Ante Project Evaluation and the Complexity of Early Decision-Making. *Public Organization Review*, 17(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11115-015-0326-y>
- Scheepers, C. E., Wendel-Vos, G. C. W., den Broeder, J. M., van Kempen, E. E. M. M., van Wesemael, P. J. V., & Schuit, A. J. (2014). Shifting from car to active transport: A systematic review of the effectiveness of interventions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 70, 264-280. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.10.015>
- Sen, A. K. (2000). The Discipline of Cost-Benefit Analysis. *Journal of Legal Studies*.
- Shephard, R. W. (2012). *Cost and Production Functions*. Springer Berlin Heidelberg. <https://books.google.es/books?id=V6f7CAAAQBAJ>
- Shephard, R. W. (2016). *Theory of Cost and Production Functions*. Princeton University Press. <https://books.google.es/books?id=us6oDwAAQBAJ>
- Siciliano, G., Barontini, F., Islam, D. M. Z., Zunder, T. H., Mahler, S., & Grossoni, I. (2016). Adapted cost-benefit analysis methodology for innovative railway services. *European Transport Research Review*, 8(4). <https://doi.org/10.1007/s12544-016-0209-5>
- Skamris, M. K., & Flyvbjerg, B. (1997). Inaccuracy of traffic forecasts and cost estimates on large transport projects. *Transport Policy*, 4(3), 141-146. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(97\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(97)00007-3)
- Smismans, S. (2015). Policy evaluation in the EU: The challenges of linking ex

- ante and ex post appraisal. *European Journal of Risk Regulation*, 6(1), 6–26. <https://doi.org/10.1017/S1867299X00004244S1867299X00004244>
- Srebrisky, Tomás; Suárez, Ancor; Margot, Diego; Ramirez, M., & Ramirez, C. (2015). Financiamiento de la infraestructura en América Latina y el Caribe : ¿ Cómo , Cuánto y Quién ? *BID*.
- Stigler, G. J. (1945). The Cost of Subsistence. In *Source: Journal of Farm Economics* (Vol. 27, Issue 2).
- Templier, M., & Paré, G. (2015). A framework for guiding and evaluating literature reviews. *Communications of the Association for Information Systems*, 37, 112–137. <https://doi.org/10.17705/1cais.03706>
- Tosi, J. D., Haworth, N., Díaz-Lázaro, C. M., Poó, F. M., & Ledesma, R. D. (2021). Implicit and explicit attitudes in transportation research: A literature review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 77, 87–101. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.12.014>
- Transportation Research Board of the National Academies. (2015). Literature Searches and Literature Reviews for Transportation Research Projects. *Transportation Research Circular, E-C194*(March), 84.
- Tsamboulas, D., & Mikroudis, G. (2000). EFECT - evaluation framework of environmental impacts and costs of transport initiatives. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 5(4), 283–303. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(99\)00038-3](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(99)00038-3)
- Tseng, M.-L., Huang, C., Yuan-hsu Lin, T., Ming-lang Tseng, T., Huang, C.-H., & Lin, Y.-H. (2008). Application of Cost Benefit Analysis and Data Envelopment Analysis to Evaluate the Municipal Solid Waste Management Projects in Metro Manila Application of Cost-Benefit Analysis and Data Envelopment Analysis to Evaluate the Municipal Solid Waste Management Projects in Metro Manila. *Issue*, 12. <https://www.researchgate.net/publication/254468360>
- Tveter, E. (2018). Using impacts on commuting as an initial test of wider economic benefits of transport improvements: Evidence from the Eiksund Connection. *Case Studies on Transport Policy*, 6(4), 803–814. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.10.002>
- Tveter, E. (2020). Explaining differences in ex-ante calculations of wider economic impacts: A review of 55 calculations. *Case Studies on Transport Policy*, 8(4), 1401–1411. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.10.005>

- USDOT. (2018). *Benefit-Cost Analysis Guidance for Discretionary Grant Programs*. June, 32. [https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/mission/office-policy/transportation-policy/284031/benefit-cost-analysis-guidance-2018\\_0.pdf](https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/mission/office-policy/transportation-policy/284031/benefit-cost-analysis-guidance-2018_0.pdf)
- Ustaoglu, E., Williams, B., & Murphy, E. (2016). Integrating CBA and land-use development scenarios: Evaluation of planned rail investments in the Greater Dublin Area, Ireland. *Case Studies on Transport Policy*, 4(2), 104-121. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2016.02.003>
- Vagdatli, T., & Petroutsatou, K. (2021). CBA and probabilistic risk analysis tool for non-revenue generating infrastructure projects. The case of Greece. *Case Studies on Transport Policy*, 9(1), 103-124. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.10.004>
- van Wee, B. (2012). How suitable is CBA for the ex-ante evaluation of transport projects and policies? A discussion from the perspective of ethics. *Transport Policy*, 19(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.07.001>
- Velasquez, M., & Hester, P. (2013). An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56-66.
- Venables, A. J. (2004). Evaluating Urban Transport Improvements: Cost-Benefit Analysis in the Presence of Agglomeration and Income Taxation. *CEP Discussion Paper*, 651.
- Venables, A. J. (2017). *Incorporating wider economic impacts within cost-benefit appraisal*. 109-127. <https://doi.org/10.1787/9789282108093-6-en>
- Vickerman, R. (2008). Recent Evolution of Research into the Wider Economic Benefits of Transport Infrastructure Investments. In *THE WIDER ECONOMIC BENEFITS OF TRANSPORT* (p. 204). OECD Publishing.
- Vickerman, R. (2017). Beyond cost-benefit analysis: the search for a comprehensive evaluation of transport investment. *Research in Transportation Economics*, 63, 5-12. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2017.04.003>
- Vigren, A., & Ljungberg, A. (2018). Public Transport Authorities' use of Cost-Benefit Analysis in practice. *Research in Transportation Economics*, 69(June), 560-567. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2018.06.001>
- Villa, J. C., Boile, M., & Theofanis, S. (2020). Trade and transportation evolution in the European Union. In *International Trade and Transportation*

- Infrastructure Development* (pp. 149–180). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815741-1.00005-x>
- Villegas Flores, N., Cruz Salvador, L. C., Parapinski dos Santos, A. C., & Madero, Y. S. (2021). A proposal to compare urban infrastructure using multi-criteria analysis. *Land Use Policy*, 101(July 2020). <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105173>
- Vreeker, R., Nijkamp, P., & Ter Welle, C. (2002). A multicriteria decision support methodology for evaluating airport expansion plans. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 7(1), 27–47. [https://doi.org/10.1016/S0969-6997\(01\)00005-9](https://doi.org/10.1016/S0969-6997(01)00005-9)
- Wallis, I., Lawrence, A., & Douglas, N. (2013). *Economic appraisal of public transport service enhancements* (Issue October).
- Wątróbski, J., Jankowski, J., Ziemia, P., Karczmarczyk, A., & Ziolo, M. (2019). Generalised framework for multi-criteria method selection. *Omega (United Kingdom)*, 86, 107–124. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.07.004>
- Welde, M., & Volden, G. H. (2015). *Ex post evaluation of transport projects – experiences from Norway*.
- Wimbadi, R. W., Djalante, R., & Mori, A. (2021). Urban experiments with public transport for low carbon mobility transitions in cities: A systematic literature review (1990–2020). *Sustainable Cities and Society*, 72(July 2020), 103023. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103023>
- Womer, N. K., Bougnol, M. L., Dula, J. H., & Retzlaff-Roberts, D. (2006). Benefit-cost analysis using data envelopment analysis. In *Annals of Operations Research* (Vol. 145, Issue 1, pp. 229–250). <https://doi.org/10.1007/s10479-006-0036-5>
- Worsley, T. (2014). Ex-post Assessment of Transport Investments and Policy Interventions. *Discussion Paper*, 19.
- Yannis, G., Kopsacheili, A., Dragomanovits, A., & Petraki, V. (2020). State-of-the-art review on multi-criteria decision-making in the transport sector. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(4), 413–431. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.05.005>
- Yen, B. T. H., Mulley, C., & Zhang, M. (2020). Equity in financing public transport infrastructure: Evaluating funding options. *Transport Policy*, 95(April), 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.06.001>

- Younis, F. (2014). Significance of Infrastructure Investment for Economic Growth. *Munich Personal RePEc Archive*, 72659, 1-35.
- Zamagni, A., Masoni, P., Buttol, P., Raggi, A., & Buonamici, R. (2012). Finding Life Cycle Assessment Research Direction with the Aid of Meta-Analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 16(SUPPL.1), 39-52. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00467.x>
- Zhou, M., Jin, H., & Wang, W. (2016). A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 49(5), 203-218. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.09.008>