

TESIS DOCTORAL

2023

Aplicación de Teoría de Juegos a las licitaciones
públicas de Proyectos de Participación Público Privada:
las Subastas Combinatorias como alternativa.

Pablo Mochón López

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Programa de Doctorado en Economía y Empresa

Dirigida por

Dra. Asunción Mochón Sáez, Universidad Nacional de Educación a Distancia

Dr. Yago Sáez Achaerandio, Universidad Carlos III de Madrid

A mi esposa

Agradecimientos

Me gustaría aprovechar estas primeras líneas de la tesis doctoral para expresar mi más profundo agradecimiento a todas y cada una de las personas que me han acompañado, ayudado y guiado en esta aventura a lo largo de los últimos años. Especialmente a mis directores de tesis, Asunción Mochón y Yago Sáez, ya que sin ellos este trabajo no hubiera sido posible. Siempre han estado ahí y han sabido darme las mejores indicaciones y consejos para seguir avanzando.

Muchas gracias a mis padres. Vuestra educación, vuestro cariño y vuestros valores me han ayudado siempre en mi vida.

Gracias en especial a mi esposa Marta, desde siempre me ha acompañado en todo lo que hago y siempre ha sido y será mi ayuda adecuada en nuestro camino.

Gracias a mi tío Paco, eres para mí un ejemplo y una fuente de inspiración.

Gracias a mis hijos. No puedo sentir más amor.

Y gracias a Dios.

Pablo Mochón López

Madrid, 2023

Resumen

El desarrollo y la conservación de infraestructuras de transporte es un elemento de fundamental importancia para el desarrollo económico y social de los países. Dentro del marco de las diferentes metodologías empleadas por las administraciones públicas para ejecutar y mantener las infraestructuras, destaca, desde hace décadas, el sistema de Asociación Público Privada. El principal objetivo de este trabajo es el de analizar novedosos sistemas de licitación de proyectos en régimen de Asociación Público Privada, como alternativa a los utilizados tradicionalmente, con la finalidad de optimizar su resultado, tanto desde el punto de vista de las administraciones públicas, como del de los participantes en los procesos de licitación.

Con este objetivo, se ha construido un complejo modelo teórico que simula una o varias subastas en las que se asigna el desarrollo de un conjunto de tramos de autopistas, licitados en régimen de Asociación Público Privada, cuando los tramos a subastar son lotes relacionados entre sí, al ser bienes sustitutivos o complementarios. En este sector, tradicionalmente, la asignación de estos proyectos se ha realizado mediante una sucesión de subastas individuales, ignorando los beneficios potenciales de licitar todos los proyectos al mismo tiempo.

La cuestión principal que se aborda en este trabajo es comprobar si es preferible subastar estos proyectos individualmente, en subastas independientes de un lote o si, por el contrario, resulta más beneficioso subastarlos todos al mismo tiempo, en una única subasta combinatoria, lo que se tomará como hipótesis de partida.

En las subastas individuales de un lote, los participantes presentan sus ofertas para cada

proyecto de forma independiente. Sin embargo, en las subastas combinatorias, tienen la capacidad de ofertar por las combinaciones de proyectos que les resulten más interesantes, reflejando en sus valoraciones las potenciales sinergias derivadas de la adjudicación conjunta de determinados lotes.

Para el desarrollo de esta tesis, se han construido dos sofisticados modelos, ambos adaptados al sector. Un modelo de valoración, que estima el valor que tiene cada proyecto para cada participante, y un modelo de asignación para determinar el resultado de los diferentes tipos de subasta considerados.

Para el diseño y la parametrización de los modelos se ha tomado como base un caso real: la segunda ola del Programa de infraestructuras colombiano 4G, en el que, a lo largo del año 2015, se asignaron 9 proyectos para la construcción de autopistas en diferentes ubicaciones del país.

Esta investigación pretende proporcionar una referencia valiosa para los gestores de políticas públicas que estén interesados en métodos de adjudicación alternativos, con el objetivo de optimizar el uso de los recursos públicos. Los resultados revelan que el mecanismo combinatorio mejora el proceso en términos de asignación y eficiencia, generando beneficios significativos para todas las partes, y disminuyendo significativamente la probabilidad de fracaso de los proyectos.

Summary

The development and preservation of transportation infrastructures is a fundamental element of crucial importance for the economic and social advancement of all countries. Within the framework of various methodologies utilized by public administrations for the execution and maintenance of infrastructures, the Public-Private Partnership system has stood out for decades. The primary objective of this study is to analyze innovative tendering systems for projects under the Public-Private Partnership regime, as an alternative to traditionally used ones, with the intention of optimizing their outcome, both from the perspective of public administrations as well as the participants in the tendering processes.

With this aim, a complex theoretical model has been constructed that simulates one or multiple auctions in which the development of a group of highway segments, tendered under the Public-Private Partnership regime, is assigned, when the segments to be auctioned are interconnected lots, being either substitutive or complementary goods. In this sector, traditionally, the assignment of these projects has been carried out through a succession of individual auctions, overlooking the potential benefits of tendering all projects simultaneously.

The main challenge faced in this thesis is whether it is preferable to auction these projects individually, in independent single lot auctions, or, on the contrary, if it would be more beneficial to auction all of them simultaneously, in a single combinatorial auction.

In independent single lot auctions, participants submit their bids for each project separately. However, in combinatorial auctions, they have the capacity to bid on combinations of projects

they find more interesting, reflecting in their valuations the potential synergies derived from the joint awarding of certain lots.

Two sophisticated models have been constructed, both adapted to the sector. A valuation model, estimating the value each project has for each participant, and an allocation model to determine the outcome of the different types of auctions considered.

For the design and parameterization of the models, a real case has been used as the basis: the second wave of the Colombian 4G Infrastructure Program, in which, throughout 2015, 9 projects were assigned for the construction of highways in various locations in the country.

This research aims to provide a valuable reference for public policy managers interested in alternative award methods, with the goal of optimizing the use of public resources. The results reveal that the combinatorial mechanism improves the process in terms of assignment and efficiency, generating significant benefits for all parties, and significantly reducing the probability of project failure.

Índice general

Agradecimientos	I
Resumen	III
Summary	VII
Lista de figuras	XVII
Lista de tablas	XVIII
1. Introducción	1
1.1. Presentación de la investigación	2
1.2. Objetivos	4
1.3. Modelos de valoración y de asignación	6
1.4. Metodología utilizada para la investigación	9
1.5. Principales resultados y conclusiones	11

1.6. Estructura de la tesis doctoral	13
2. Las Asociaciones Público Privadas	15
2.1. Las Asociaciones Público Privadas	16
2.2. Características comunes de los proyectos APP	18
2.3. Problemática actual en la licitación de proyectos de APP	21
3. Estado del arte	27
3.1. Problemática en los proyectos APP y factores críticos de éxito	28
3.2. Diseños de licitaciones de proyectos APP	31
4. Mecanismos de subastas analizados	37
4.1. Subastas independientes de un lote	37
4.2. Subastas combinatorias	41
4.3. Los lotes APP y las subastas combinatorias. Casos reales.	45
5. El sistema concesional en Colombia	51
5.1. Sistema concesional en Colombia: las primeras tres generaciones	53
5.2. Cuarta generación: programa 4G colombiano	56
5.2.1. Estructura general	57
5.2.2. Financiación de los proyectos	59

5.3. Segunda ola del programa 4G en Colombia	60
5.4. Reflexiones generales	65
6. Caracterización de participantes y lotes	69
6.1. Categorías de participantes	70
6.2. Variables clave de lotes y paquetes	77
6.3. Combinación de participantes, lotes y paquetes	83
7. Modelo de valoración	85
7.1. Pasos para implementar el modelo de valoración	86
7.2. Impacto de variables en la generación de escenarios	89
7.3. Impactos de cada variable ajustados por lote	91
7.4. Matriz de ponderación por variable y categoría de participante: valoración de un lote	93
7.5. Valoración de paquetes	96
7.6. Cálculo de la valoración final y del descuento	101
8. Modelo de asignación y escenarios analizados	105
8.1. Modelo de asignación	106
8.2. Ruido gaussiano incluido en el modelo	107

8.3. Escenarios principales	111
8.4. Escenarios extremos	112
8.5. Desarrollo del Escenario Base	113
8.6. Contraste de validez del modelo: aplicación al caso real	117
9. Análisis de Resultados	127
9.1. Análisis del Escenario Base	128
9.1.1. Escenario Base: resultados	128
9.1.2. Escenario Base: Tipología de ganadores lote a lote	132
9.2. Escenarios principales: resultados por escenario	135
9.2.1. Escenario 2	135
9.2.2. Escenario 3	136
9.2.3. Escenario 4	138
9.2.4. Escenario 5	140
9.3. Escenarios extremos: resultados	142
9.3.1. Escenario 1a	142
9.3.2. Escenario 1b	144
9.3.3. Escenario 1c	146
9.3.4. Escenario 1d	148

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	XV
10.Resultados globales y conclusiones	151
10.1. Resultados Globales	151
10.1.1. Precio final total a pagar por la ANI	152
10.1.2. Asignación de lotes conexos	155
10.1.3. Alcance de la OC_i^* por los participantes ganadores	156
10.1.4. Tamaño de los paquetes adjudicados	157
10.1.5. Tipología de participantes ganadores	158
10.2. Conclusiones finales	160
Bibliografía	167
Apéndices	175
Apéndices A. Listado de acrónimos	177
Apéndices B. Determinación del Valor Base Ajustado	179

Índice de figuras

1.1. Etapas seguidas en la metodología.	11
2.1. Estructura típica de un proyecto APP.	20
2.2. Fuentes de financiación de proyectos APP.	21
2.3. Coste por km de carretera en función del número de participantes en la subasta.	22
5.1. Vías preexistentes y proyectos de la 4G de concesiones en Colombia.	57
5.2. Localización geográfica de los lotes de la segunda ola de la 4G.	62
5.3. Etapas de la metodología implementada.	66
7.1. Pasos del modelo de valoración.	89
8.1. Ganador lote 2.2 con factor ruido del $\pm 1\%$	109
8.2. Ganador lote 2.2 con factor ruido del $\pm 5\%$	109
8.3. Etapas para contraste del modelo con el resultado real.	118

10.1. Ofertas finales.	153
10.2. Desviación estándar de los descuentos medios de todos los escenarios.	154
10.3. Tamaño paquetes adjudicados.	158
10.4. Capacidad óptima de los adjudicatarios.	159
10.5. Tamaño de los adjudicatarios.	159
10.6. Tipología de los adjudicatarios.	160

Índice de tablas

4.1. Ofertas realizadas por los participantes.	44
4.2. Autopistas en régimen APP adjudicadas en España entre 1998 y 2000.	47
4.3. Hospitales en régimen APP adjudicados por la Comunidad de Madrid en España en 2005.	47
4.4. Autopistas en régimen APP adjudicadas en Chile entre 1997 y 1998.	47
4.5. Ganadores por número de lotes APP en Chile, Marzo 2016.	48
4.6. Ganadores de licitaciones APP en el sector sanitario en Canadá entre 2006 y 2007.	49
4.7. Precalificados en más de tres lotes en la segunda ola 4G Colombia.	50
5.1. Reparto de responsabilidades en contratos de infraestructura de transporte en Colombia.	52
5.2. Concesiones viales de primera generación en Colombia.	54
5.3. Concesiones viales de segunda generación en Colombia.	54

5.4. Concesiones viales de tercera generación en Colombia.	55
5.5. Lotes de la primera ola 4G.	58
5.6. Lotes de la segunda ola 4G.	61
5.7. Resultado real de las subastas en la segunda ola 4G.	65
6.1. Matriz de distribución de riesgos de los proyectos 4G.	71
6.2. Tipos de empresas en base a sus ingresos anuales	73
6.3. Tipos de empresas constructoras y concesionarias internacionales en base a sus ingresos anuales	74
6.4. Categorías de participantes.	77
7.1. Valor de las variables de los lotes.	90
7.2. Valor del coeficiente de ajuste por variable y lote.	92
7.3. Matriz de ponderación por variable y categoría de participante.	94
7.4. Primera y segunda ola 4G. Número de lotes adjudicados por participante. . .	97
7.5. OC_i^* por categoría de participante.	99
7.6. Valor de $OC_{i,S}$	99
7.7. <i>Ejemplo: parámetros del participante de categoría 1 para el lote 1.</i>	103
8.1. Importe a pagar por la ANI en función del valor del factor ruido.	108

8.2. Participante con mejor valoración frente a participante adjudicatario. 110

8.3. Escenarios principales. 112

8.4. Escenarios extremos. 113

8.5. Valores de $V_{1,j}$ del Participante 1 para el Escenario Base. 114

8.6. Valores de $O_{1,s'}$ 114

8.7. Escenario Base: Subastas independientes de un lote. 115

8.8. Resultado de la primera repetición del Escenario Base. Subasta combinatoria 115

8.9. Participantes en la subasta real del lote 2.1. 119

8.10. Participantes en la subasta real del lote 2.2. 119

8.11. Participantes en la subasta real del lote 2.3. 120

8.12. Participantes en la subasta real del lote 2.4. 120

8.13. Participantes en la subasta real del lote 2.5. 120

8.14. Participantes en la subasta real del lote 2.6. 121

8.15. Participantes en la subasta real del lote 2.7. 121

8.16. Participantes en la subasta real del lote 2.8. 121

8.17. Participantes en la subasta real del lote 2.9. 121

8.18. Resultados del análisis de contraste del modelo con el caso real. 122

9.1. Escenario Base: precio final total a pagar por la ANI. 129

9.2. Escenario Base: % repeticiones en las que lotes conexos se adjudican a un mismo participante.	130
9.3. Escenario Base: alcance OC_i^* por participantes ganadores.	130
9.4. Escenario Base: tamaño de los paquetes adjudicados.	131
9.5. Escenario Base: OC_i^* de los participantes ganadores.	131
9.6. Escenario Base: tamaño de los participantes ganadores.	132
9.7. Escenario Base: tipo de actividad de los participantes ganadores.	132
9.8. Escenario Base: tipología de los ganadores de cada lote.	133
9.9. Escenario Base: tamaño de los ganadores de cada lote.	133
9.10. Escenario 2: resultados principales.	135
9.11. Escenario 2: tamaño de los paquetes adjudicados.	136
9.12. Escenario 2: tipología de los participantes ganadores.	136
9.13. Escenario 3: resultados principales.	137
9.14. Escenario 3: tamaño de los paquetes adjudicados.	137
9.15. Escenario 3: tipología de los participantes ganadores.	137
9.16. Escenario 4: resultados principales.	139
9.17. Escenario 4: tamaño de los paquetes adjudicados.	139
9.18. Escenario 4: tipología de los participantes ganadores.	139

9.19. Escenario 5: resultados principales. 141

9.20. Escenario 5: tamaño de los paquetes adjudicados. 141

9.21. Escenario 5: tipología de los participantes ganadores. 141

9.22. Escenario 1a: resultados principales. 143

9.23. Escenario 1a: tamaño de los paquetes adjudicados. 143

9.24. Escenario 1a: tipología de los participantes ganadores. 143

9.25. Escenario 1b: resultados principales. 145

9.26. Escenario 1b: tamaño de los paquetes adjudicados. 145

9.27. Escenario 1b: tipología de los participantes ganadores. 145

9.28. Escenario 1c: resultados principales. 146

9.29. Escenario 1c: tamaño de los paquetes adjudicados. 146

9.30. Escenario 1c: tipología de los participantes ganadores. 147

9.31. Escenario 1d: resultados principales. 148

9.32. Escenario 1d: tamaño de los paquetes adjudicados. 148

9.33. Escenario 1d: tipología de los participantes ganadores. 149

10.1. Suma de importes de las ofertas ganadoras y descuentos medios por escenario. 152

10.2. Asignación de lotes conexos por escenario. 155

10.3. Alcance de *OC* por escenario. 157

10.4. Media de todos los escenarios: tamaño de paquetes adjudicados.	157
10.5. Media de todos los escenarios: tipología de los participantes ganadores. . . .	159
A.1. Acrónimos.	177
B.1. Valor Base ANI y Valor Base Ajustado por lote.	181

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se realiza una introducción a la tesis doctoral. En él se presenta la investigación y sus principales objetivos, así como los modelos de valoración y asignación desarrollados, la metodología utilizada, y los principales resultados. Se ha estructurado en seis apartados:

- En el *Apartado 1.1* se presenta y motiva la investigación desarrollada.
- En el *Apartado 1.2* se señalan los principales objetivos perseguidos en la investigación.
- En el *Apartado 1.3* se hace una introducción a los modelos de valoración y de asignación construidos.
- En el *Apartado 1.4* se explica la metodología seguida.
- En el *Apartado 1.5* se adelantan de forma resumida los principales resultados y las conclusiones de la investigación.
- Por último, en el *Apartado 1.6* se presenta la estructura de la tesis y sus diferentes capítulos.

1.1. Presentación de la investigación

El desarrollo y construcción de nuevas infraestructuras de transporte es un elemento crítico para el desarrollo económico de los países, al incrementar el comercio y el turismo, reduciendo los índices de pobreza y de desigualdad, potenciando la creación de puestos de trabajo y reduciendo la siniestralidad. Estas infraestructuras generan altos retornos sociales y mejoran el bienestar de la comunidad. Los gobiernos son los responsables últimos de la prestación de los servicios públicos y del desarrollo de las infraestructuras necesarias. La inversión en infraestructura es a menudo parte de un pacto social entre un gobierno y sus ciudadanos.

Un desarrollo de infraestructuras inadecuado, es una clara limitación para el crecimiento económico, e impacta negativamente en la calidad de vida, particularmente en los países en desarrollo. Cuando la demanda para los servicios de infraestructura supera su capacidad, se produce la congestión o el racionamiento del servicio, la calidad del suministro del mismo se reduce, así como su fiabilidad, y algunas áreas simplemente no serán atendidas. Según The World Bank [61], en el año 2016 a nivel mundial:

- *Más de 2.400 millones de personas carecían de acceso a saneamiento.*
- *Al menos 663 millones de personas carecían de acceso a agua potable.*
- *Más de 1.000 millones de personas vivían sin acceso a la electricidad.*
- *Al menos un tercio de la población rural no tenía acceso a vías pavimentadas.*

Para cubrir este déficit de infraestructura, y teniendo en cuenta que los gobiernos se ven muy frecuentemente sometidos a restricciones presupuestarias, el uso del régimen de Asociación Público Privada (APP) pueden ser una gran ayuda para las administraciones públicas. En el Capítulo 2 se realiza una explicación detallada del sistema de APP.

Las infraestructuras en régimen de APP se han popularizado en las últimas décadas, pues ayudan a solucionar problemas como: la insuficiencia de fondos públicos, la mala planificación, la inadecuada selección de proyectos, o un mantenimiento insuficiente de las infraestructuras existentes. Sin embargo, los proyectos de infraestructuras realizados en régimen de APP, no están carentes de su propia problemática. Destaca, dentro de esta, la dificultad para encontrar empresas que tengan la suficiente experiencia y capacidad, tanto económica como técnica, para llevar a cabo todas las tareas necesarias para el desarrollo de un proyecto del tipo APP. Debido a lo anterior, es frecuente encontrar un déficit de competencia en las subastas que lanzan los gobiernos para adjudicar los proyectos APP. La baja competencia supone un claro perjuicio para las administraciones públicas, que tiene como consecuencia inmediata un incremento de los precios de adjudicación, con el correspondiente impacto presupuestario.

Como una posible solución para estos problemas, el mundo de las subastas se ha visto recientemente inmerso en grandes avances. Con el desarrollo de la teoría de las subastas, y gracias a las investigaciones experimentales realizadas sobre el tema, han aparecido diseños de subastas cada vez más sofisticados, que favorecen una asignación eficiente de los lotes, así como la optimización de ingresos para el vendedor. Esta circunstancia ha fomentado que muchos mercados estén recurriendo a las subastas como método de adjudicación de bienes y servicios.

Efectivamente, diversos gobiernos, conscientes de las ventajas que tiene el uso de los nuevos modelos de subasta, no se han mantenido al margen y han decidido recurrir a ellos para adjudicar sus proyectos, y establecer precios de venta en entornos de incertidumbre. Dentro de las tipologías de subastas que mayor desarrollo han tenido, cabe destacar la subasta combinatoria, en la que el vendedor subasta un conjunto de múltiples bienes (heterogéneos pero relacionados entre sí, sustitutivos o complementarios) en una única subasta, en la cual, los participantes tienen la opción de pujar por las combinaciones de lotes que deseen.

Como un ejemplo palpable de esta evolución, la adjudicación de licencias de espectro radioeléctrico, en el emergente sector de las telecomunicaciones es, tal vez, el mercado de las economías modernas en el que el diseño de nuevos mecanismos de subasta tiene un impacto

más profundo. Un artículo del año 2017 [45] presenta una revisión de cómo ha sido este proceso, prestando especial atención al uso de las subastas combinatorias.

En esta investigación se analiza el problema de falta de competencia en los procesos tradicionales de subastas independientes, particularizado para el proceso de licitación y adjudicación de contratos APP. Se aplican mecanismos avanzados de subastas combinatorias, con la finalidad de analizar el potencial efecto de mejora que pudiese producir en los resultados de las adjudicaciones, en comparación a los mecanismos de subasta tradicionales.

1.2. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es el de analizar las ventajas que puede tener, tanto para las administraciones públicas como para las empresas privadas interesadas en presentar sus ofertas, el uso de subastas combinatorias para licitar proyectos de carreteras en régimen de APP. En particular se analiza el caso de que los lotes a licitar sean heterogéneos pero relacionados entre sí.

Dos lotes relacionados pueden ser bienes sustitutivos o complementarios para las distintas empresas privadas participantes en las subastas. Dos lotes serán complementarios para un participante, cuando su valoración por el conjunto de los dos lotes sea superior a la suma de las valoraciones individuales de cada uno de ellos, y serán sustitutivos en el caso contrario.

En el sector de la construcción de infraestructuras, la forma habitual de licitar varios lotes es la realización de una serie de subastas independientes. En cada una de ellas se ofrece un único lote, independientemente de que éstos sean o no lotes relacionados. Al utilizar este tipo de licitación, las administraciones públicas ignoran los beneficios potenciales que pueden derivar de asignar todos los lotes al mismo tiempo, mediante una subasta combinatoria. La principal hipótesis que se pretende contrastar en este trabajo, es si es preferible subastar un conjunto de lotes relacionados de forma individual, en múltiples subastas independientes de un lote o si, por el contrario, es mejor hacerlo simultáneamente en una única subasta

combinatoria. Se hará especial énfasis en analizar si las subastas son óptimas y eficientes:

- **Una subasta óptima** es aquella en la que se maximiza el beneficio que obtiene el subastador (las administraciones públicas en este caso).
- **Una subasta eficiente** es aquella que permite que cada lote ofertado sea adjudicado al participante de la subasta para el que tiene una mayor valoración.

Cuando los lotes se licitan mediante una serie de subastas independientes de un lote, los participantes presentan sus ofertas para cada uno de ellos de forma independiente. No pueden tener en cuenta el conjunto de los lotes, al no existir vinculación alguna entre la adjudicación de un lote y el resultado del resto de las subastas. Por el contrario las subastas combinatorias se diseñan de tal forma que los participantes puedan ofertas por las combinaciones de lotes que prefieran, y reflejar en el precio de su oferta tanto las sinergias que puedan existir entre los lotes, como las economías de escala derivadas de poder amortizar los costes del estudio de las ofertas, entre mayor volumen de negocio. Cada una de las posibles combinaciones de lotes se denomina paquete.

Para abordar esta problemática, en este trabajo se han desarrollado dos herramientas principales:

- Un avanzado **modelo de valoración**, mediante el que se determina el valor que cada participante otorga a cada uno de los lotes ofrecidos en las subastas, y a las diferentes combinaciones de lotes, que conforman lo que se denominan paquetes.
- Un **modelo de asignación**, mediante una programación específica, que resuelve el problema de adjudicación de cada uno de los lotes. Realiza una doble simulación, la de varias subastas independientes de un lote por un lado, y la de una única subasta combinatoria por otro, siempre bajo el criterio de maximizar el beneficio para la administración pública que realiza las licitaciones.

Para el diseño de estas herramientas, y el contraste de los resultados obtenidos, se ha tomado como base la segunda fase del programa de desarrollo de infraestructuras colombiano llamado 4G. A esta segunda fase del programa 4G se le denominó segunda ola. En ella se licitaron, a lo largo del año 2015, 9 proyectos para la construcción y explotación de varias carreteras en el país en régimen de APP.

Existen aportaciones teóricas que abordan este tema, como ampliamente se explica en el Capítulo 3. Sin embargo, hasta la fecha, este trabajo es la primera referencia en la que se presenta un análisis cuantitativo de experimentos basados en subastas reales, dentro del ámbito concreto de infraestructuras de APP, lo que hace que esta investigación puede ser una valiosa referencia para los responsables de las políticas de gobiernos que deseen desarrollar programas de infraestructuras en régimen de APP.

Los resultados revelan que el mecanismo combinatorio mejora el proceso, respecto de las subastas independientes de un lote, tanto desde el punto de vista de implantar una subasta óptima como del de una subasta eficiente, generando beneficios significativos para todas las partes intervinientes.

1.3. Modelos de valoración y de asignación

En este trabajo se analizan en profundidad, y se comparan entre sí, los resultados obtenidos al aplicar los dos mecanismos de subasta mencionados (detallados en el Capítulo 4), para la adjudicación de un conjunto de carreteras en régimen de APP.

Con este fin, se ha construido un modelo de valoración completo. Mediante este modelo se determina el valor que cada lote y paquete tiene para cada uno de los participantes involucrados en la subasta. En la construcción del modelo de valoración se han tenido en cuenta las características particulares de cada uno de los lotes y las posibles sinergias entre ellos. De igual forma, se han considerado las características principales de las empresas participantes en las subastas (que han sido clasificadas en función de ellas), las posibles

economías de escala, y las limitaciones de capacidad de los participantes.

Para desarrollar el modelo de valoración se ha tomado como referencia el caso real de las licitaciones adjudicadas en Colombia durante el año 2015, en la segunda ola de las autopistas 4G. En el caso real, los lotes fueron asignados a través de una sucesión de 9 subastas independientes de un lote.

Se han estudiado en detalle las empresas que participaron en los procesos de licitación, y las ofertas que realmente se realizaron. Dadas las características y la ubicación geográfica de las carreteras ofertadas, es importante destacar que los participantes pudieron incluir complementariedades en sus modelos de valoración, de forma que el valor de un conjunto de lotes pudiera ser mayor que la suma del valor individual de cada lote (valores superaditivos). De forma contraria sucederá en los casos en que existan limitaciones de capacidad en los participantes (valores sustitutivos).

Una vez obtenidas las valoraciones de lotes y paquetes, se resuelve el problema de asignación de cada lote para ambos mecanismos de subasta, de forma que se maximice el beneficio de la administración pública que desarrolla el proceso de licitación.

En subastas independientes de un lote, obtener los participantes ganadores y el precio final a pagar, es una tarea fácil. En ellas sólo se necesita seleccionar la oferta más baja realizada en la subasta de cada uno de los lotes.

Por el contrario, en una subasta combinatoria, los participantes podrán enviar tantas ofertas como posibles combinaciones de lotes existan, y se asignarán los lotes al conjunto de ofertas que minimice los pagos de la administración contratante, es decir, la combinación factible que tenga un precio conjunto inferior.

En estos casos, el cálculo de la combinación de ofertas ganadora se complica mucho y exige un proceso de resolución cada vez más complejo, conforme se incrementa el número de participantes y de lotes a subastar. Esto se debe a que el número de posibles combinaciones aumenta de forma exponencial. Este es un problema NP (Nondeterministic Polynomial) -

completo [58]. Para su resolución y para poder comparar los resultados finales, se requiere, en muchos casos, del uso de técnicas de computación avanzadas.

Considerando lo anterior, se ha diseñado un modelo de asignación capaz de simular las subastas y encontrar la solución de adjudicación óptima en el entorno descrito. Este simulador implementa tanto subastas independientes de un lote, como subastas combinatorias, tras lo que proporciona los siguientes resultados:

- Las **ofertas finales de cada participante** sobre cada uno de los lotes y paquetes.
- La **designación del participante ganador** de cada uno de los lotes.
- El **precio final de adjudicación** de cada lote.

Una vez obtenidos los resultados, éstos se analizan y se comparan en detalle, haciendo énfasis en los elementos que determinan la eficacia de la subasta utilizada, y en la asignación óptima de los lotes, tanto desde el punto de vista de las administraciones públicas que promueven los procesos de licitación, como del de las empresas privadas que desean ganar los lotes.

Para evitar un posible sesgo causado por la configuración específica de la subasta escogida, se han definido 9 escenarios diferentes, de los que 5 son considerados como principales y 4 como extremos. Éstos últimos que se han diseñado para analizar los resultados cuando se acentúa el impacto de determinadas variables específicas.

De igual forma, en aras de dotar a los resultados de una mayor robustez, se han realizado 50 repeticiones de cada uno de los escenarios definidos, agregando ruido mediante funciones gaussianas a las valoraciones obtenidas mediante el modelo de valoración.

1.4. Metodología utilizada para la investigación

La metodología utilizada explora la cuestión presentada mediante el uso de simulaciones por ordenador. Las simulaciones sociales, se han convertido en una metodología apropiada en la investigación moderna, cuando se analizan entornos multidisciplinares complejos dentro de las ciencias sociales. En este trabajo se ha adoptado la metodología propuesta por C. Cioffi-Revilla para este tipo de investigaciones [11]:

1. **Análisis multidisciplinar de la investigación:** En este trabajo se desarrolla una investigación multidisciplinar, realizando análisis desde diferentes campos: entornos económicos, informáticos y desarrollo de infraestructuras.
2. **Establecer las preguntas clave según la teoría:** Basándose en los modelos teóricos de la teoría de subastas, se han explorado las siguientes preguntas clave:
 - ¿Como impacta en la **eficacia de la subasta** el mecanismo de asignación elegido?.
 - ¿Deberían las administraciones públicas, responsables del desarrollo de políticas económicas, considerar el uso de **subastas combinatorias para adjudicar lotes relacionados**, en lugar de subastas independientes de un lote?.
 - ¿Cual es el **impacto positivo en los objetivos públicos** derivado de sustituir los mecanismos de licitación tradicionales, mediante subastas independientes de un lote, por **subastas combinatorias**?
3. **Utilizar modelos computacionales para abordar las preguntas clave:** Para abordar estas preguntas clave, se ha construido un complejo modelo que simula el mercado seleccionado. Se han establecido varios escenarios para completar múltiples experimentos. Se han utilizado técnicas avanzadas de computación para simular las subastas combinatorias (resolviendo el problema de determinación del ganador, o como se denomina más frecuentemente, en inglés, el Winner Determination Problem, (WDP)). Para validar los resultados, se ha llevado a cabo un robusto análisis mediante el cual se

han probado los impactos de modificar diversas variables, introduciendo factores de incertidumbre, tal y como sucede en el mundo real.

Para abordar las preguntas clave de esta investigación, se han seguido los siguientes pasos, en aras de desarrollar una metodología apropiada y completa.

1. **Definición de lotes, paquetes y participantes:** Tomando como base los 9 lotes de la segunda ola del programa 4G, se identifican las principales variables relacionadas con los lotes licitados, tales como: inversión, deuda, capital y relación capital/inversión. Adicionalmente, se han incluido variables que inciden en los paquetes o combinaciones de lotes, como son la conectividad y la capacidad óptima. Posteriormente, se analizan las características básicas de las compañías privadas participantes en las subastas reales, con el fin de generar una categorización de los participantes.
2. **Generación del modelo de valoración:** Se ha generado un modelo de valoración complejo, adaptado al sector de las infraestructuras de transporte. Este modelo determina las valoraciones que cada participante realizaría de cada uno de los lotes, partiendo para ello de unos determinados valores de los lotes, preestablecidos por la administración. Las valoraciones se han ajustado para cada lote y participante, en función de los impactos que generan sobre ellas las variables previamente definidas.
3. **Generación de escenarios experimentales:** Para realizar análisis de sensibilidad, se generan varios escenarios en los que se modifican las variables que afectan a las valoraciones de los participantes. Este enfoque brinda solidez al análisis, evitando el sesgo resultante de una configuración específica cerrada.
4. **Generación del modelo de asignación:** Con la finalidad de establecer un mecanismo para adjudicar los lotes entre los diferentes participantes, en cada uno, de los escenarios definidos, y para cada modelo de subasta, se ha construido un modelo de asignación complejo. Para evitar resultados sesgados, cada escenario se ha ejecutado 50 veces, introduciendo un factor de distorsión o ruido gaussiano.

5. **Análisis de los resultados:** Se compararon variables clave para ambos tipos de subasta, en términos de precios finales y adjudicación de lotes y paquetes, con la finalidad de determinar las principales ventajas e inconvenientes de los mecanismos de subasta comparados.

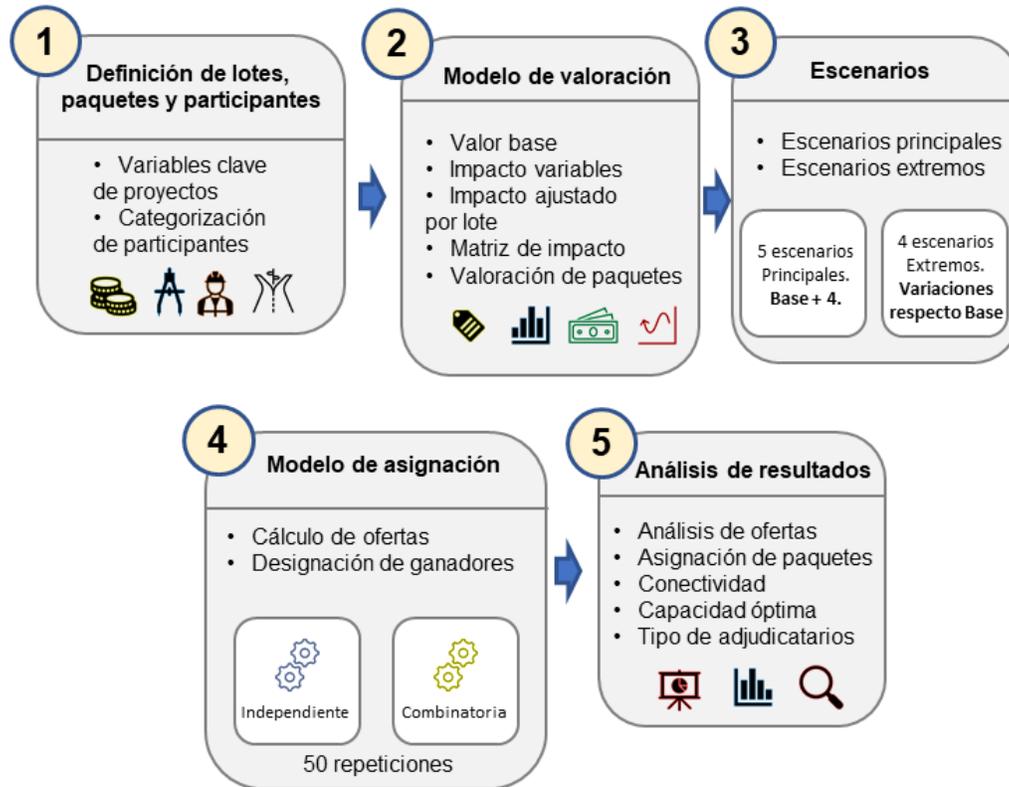


Figura 1.1: Etapas seguidas en la metodología.
Fuente: elaboración propia.

La Figura 1.1 describe las principales etapas seguidas en la metodología, que se explica en detalle en los siguientes capítulos.

1.5. Principales resultados y conclusiones

Este trabajo proporciona a los responsables de la formulación de políticas públicas una clara referencia de las ventajas y desventajas derivadas de aplicar cada mecanismo de subasta.

El fin último es contribuir a mejorar la toma de decisiones en procesos futuros, en los que se decida adjudicar, mediante mecanismo de APP, múltiples lotes relacionados.

La decisión de optar por una subasta combinatoria, implica un esfuerzo considerable por parte de las autoridades, pues deben de preparar simultáneamente todas las licitaciones al comienzo del proceso. Asimismo, la interacción con las empresas privadas durante los procesos previos de la subasta será también más compleja. Sin embargo, los resultados revelan que las subastas combinatorias permiten a los participantes presentar mejores ofertas por combinaciones de lotes, cuando éstos tengan sinergias entre sí, o cuando la combinación de lotes ofertados les lleve a alcanzar su capacidad óptima.

Por el contrario, en subastas independientes de un lote, esta estrategia de licitación no es posible. Esto se debe a que ganar un lote no garantiza ganar el complementario, ni ganar ninguno más, por lo que, los participantes, con excepción de aquéllos que hayan ganado algún lote previamente, no podrán aplicar en su valoración ningún tipo de sinergia ni economías de escala.

A la luz de los resultados obtenidos, se puede afirmar que una subasta combinatoria mejora el proceso de adquisición en tres aspectos fundamentales:

1. Alcanza una **asignación óptima**, minimizando el precio total que deben de pagar las autoridades públicas, manteniendo pese a ello un razonable beneficio empresarial en favor de los participantes ganadores. Esta reducción en el precio final a pagar implica un significativo impacto positivo en los presupuestos públicos.
2. **Mejora la eficiencia de la licitación**, ya que los ganadores tienen la capacidad de expresar dentro de sus estrategias de licitación su valoración por una determinada combinación de lotes y, por lo tanto, tienen más probabilidades de obtener el paquete deseado que mejor se ajuste a sus capacidades.
3. Facilita la **adjudicación de los lotes a las empresas que están mejor preparadas para desarrollarlos**, reduciendo así el riesgo de fracaso en la ejecución de los proyectos

de infraestructura.

Los resultados principales de este trabajo se han publicado en la prestigiosa revista *Transport Policy* [47].

1.6. Estructura de la tesis doctoral

Los capítulos sucesivos de este trabajo están estructurados de la siguiente forma.

- El *Capítulo 2* se dedica a introducir las APPs, sus principales características, y la problemática relacionada con su licitación.
- En el *Capítulo 3* se presenta el estado del arte en relación tanto a las APPs, como a las subastas en este sector.
- El *Capítulo 4* describe los mecanismos de los dos tipos de subasta analizados en este trabajo: subastas independientes de un lote y combinatorias.
- Después, en el *Capítulo 5*, se describe en general el sistema concesional en Colombia, y en particular el ejemplo seleccionado: la segunda ola del programa 4G, en la que se adjudicaron 9 lotes de carreteras.
- El *Capítulo 6* describe las características tanto de los lotes ofertados como de los participantes involucrados en las subastas. Ambos son elementos clave para los modelos de valoración y asignación construidos.
- El *Capítulo 7* describe el modelo de valoración, esto es, el modo en que la valoración final es calculada para cada participante por lote y paquete.
- El *Capítulo 8* recoge una descripción del modelo de asignación y de los diferentes escenarios usados para las simulaciones realizadas.

- El *Capítulo 9* se dedica en analizar los resultados obtenidos escenario a escenario, comparando la subasta independiente de un lote frente a la combinatoria.
- Finalmente, los resultados globales y conclusiones se presentan en el *Capítulo 10, junto con posibles líneas futuras de investigación.*

Capítulo 2

Las Asociaciones Público Privadas

En este capítulo se explica en detalle el funcionamiento y características de las APPs, así como sus principales problemáticas. El capítulo se ha estructurado en tres apartados:

- En el *Apartado 2.1* se define lo que es una APP, y se presentan sus características principales: cómo son las subastas que se utilizan para adjudicar los lotes, cómo son las sociedades que se constituyen para participar en ellas y cuales son las principales obligaciones que deben de cumplir las empresas a las que les asignen los lotes.
- En el *Apartado 2.2* se explican las características comunes de los proyectos ejecutados mediante APPs, que influyen de forma significativa en la problemática existente en su licitación pública.
- En el *Apartado 2.3* se indican las principales dificultades que existen en el mundo de las subastas de proyectos realizados en régimen de APP: costes elevados, escasa competencia y elevada incertidumbre. Tradicionalmente, para subastar varios lotes relacionados, se realizan varias subastas independientes de un único lote. Esta forma de proceder no parece la más eficiente, pues no aprovecha las posibles economías de escala ni fomenta la competencia.

2.1. Las Asociaciones Público Privadas

Según el European PPP Expertise Centre [26], “*Un proyecto en régimen de APP es un acuerdo entre una autoridad pública y un socio privado, diseñado para ejecutar un proyecto y proporcionar el servicio de una infraestructura pública en un acuerdo a largo plazo. En virtud de este acuerdo, el socio privado asume tanto riesgos como responsabilidades de gestión importantes. La autoridad pública realiza pagos al socio privado basados en su grado de cumplimiento en la prestación del servicio (por ejemplo, por la disponibilidad de una autopista) o le otorga al socio privado el derecho a generar ingresos por la prestación del servicio (por ejemplo, peajes de los usuarios de un puente)*”.

El uso de esquemas de APP, para el desarrollo de proyectos de infraestructura comenzó, en su formato actual, en el Reino Unido en los años 90, y se ha extendido ampliamente en los últimos años. Su objetivo es alcanzar una mayor eficiencia en la colaboración entre las entidades públicas, que desean ejecutar infraestructuras, y las empresas, que se encargan del diseño, financiación, construcción y operación de las mismas. Efectivamente, The World Bank Group [62] indica que “*Los proyectos APP están ganando momentum globalmente como forma de desarrollar infraestructuras*”. Finalmente, según The World Bank Group [65], durante el quinquenio transcurrido entre los años 2017 y 2021, la inversión total en proyectos APP en los países en desarrollo fue de 402,7 billones de USD, repartidos en entre 1.627 proyectos. De ella, 120 billones de USD se ha invertido en carreteras, repartida entre 4.325 proyectos.

Los proyectos APP pueden clasificarse en dos grandes categorías: los proyectos tipo *greenfield* y los tipo *brownfield*. Los tipo *greenfield* implican la construcción de una nueva infraestructura, respecto de la que la empresa adjudicataria asume el riesgo de diseño, el de financiación, y los de construcción y operación, siendo habitual que no comience a percibir ingresos hasta la puesta en servicio del activo. En los proyectos tipo *brownfield*, sin embargo, la infraestructura ya existe previamente, y la empresa que se hace cargo de ella debe responsabilizarse de mantenerla, operarla y, en muchas ocasiones, de rehabilitarla o ampliarla, recibiendo ingresos desde el inicio del contrato.

Los ingresos que recibe la empresa concesionaria pueden ser pagados directamente por los usuarios de la infraestructura, como por ejemplo en una autopista de peaje, o por la propia administración pública, como sucede en los denominados peajes sombra, donde es la administración la que paga al concesionario en función del número de vehículos que usen la carretera. También existen modelos mixtos, con una parte de pago variable y otra fija.

Por otro lado, la cantidad de ingresos a recibir pueden depender directamente del número de usuarios que utilicen o se beneficien de la infraestructura. En este caso el concesionario asume el riesgo de demanda. Por el contrario, existen otros modelos en los que el riesgo de demanda es asumido por la administración (pagos por disponibilidad, muy típicos en infraestructura sanitaria).

En los contratos APP las administraciones establecen unos determinados indicadores de calidad (tiempos de respuesta en prestación de servicios, mantenimiento de determinados parámetros de las infraestructuras, etc.), que el concesionario debe de respetar, y cuyo incumplimiento da lugar a penalizaciones.

Una ventaja que se suele esgrimir para defender los beneficios de los contratos APP es que, al no quedar limitada la responsabilidad de la empresa concesionaria exclusivamente a la construcción de la infraestructura, sino extenderse también a la operación y el mantenimiento durante un extenso periodo de tiempo, estará muy interesada en ejecutar las obras con la calidad adecuada, pues de lo contrario tendrá que soportar sobrecostes en el futuro.

Durante la elaboración de los procesos de adjudicación, las administraciones definen una serie de criterios para elegir al ganador, de entre los cuales habitualmente destaca el económico, ya que las administraciones deben de optimizar el uso de sus recursos. Algunos ejemplos de criterios de adjudicación normalmente utilizados por las administraciones son los siguientes:

- **Mínima tarifa** a pagar por el usuario de la infraestructura.
- **Mínima duración del contrato APP**, y consecuentemente plazo durante el que el

concesionario está recibiendo ingresos por el mismo.

- **Mínima cantidad de subvenciones públicas** a percibir por el concesionario, en los casos explicados previamente en los que los ingresos del concesionario son abonados, total o parcialmente, por la administración pública.
- **Máximo importe a pagar a la administración.** Esto es típico en subastas de proyectos APP tipo *brownfield*, donde los ingresos a recibir por el concesionario durante el periodo de duración de la concesión son mayores que la inversión a ejecutar, lo que posibilita establecer un pago inicial a la administración pública, a cambio de obtener el derecho de explotar la infraestructura.

Este trabajo se centra en APPs del tipo *greenfield*, donde el principal criterio de adjudicación es el mínimo pago de subvenciones públicas al concesionario, ya que éste fue el criterio utilizado en el caso real que se ha tomado como referencia, que se explicará en detalle más adelante.

2.2. Características comunes de los proyectos APP

Existen proyectos APP en múltiples países, regulados por diferentes legislaciones y bajo estructuras diversas, aunque habitualmente comparten ciertas características comunes:

- **Alta complejidad.** Son proyectos complejos, al combinar diferentes especialidades, como son la realización del diseño de las obras a ejecutar, la obtención de financiación, la ejecución de obras y la gestión y operación de las infraestructuras. Son áreas muy diversas, que pocas empresas son capaces de aunar. Por todo ello, las empresas que participen en las licitaciones deben tener gran experiencia y un elevado grado de sofisticación.
- **Elevados costes de estructuración y estudio.** Consecuencia de la complejidad indicada en el punto anterior, el coste de estructurar los procesos de licitación, desde el

punto de vista de la administración pública, y el de estudiar las ofertas y perfeccionar los contratos, desde el de los participantes privados, es muy elevado. De media, oscila entre un 5% y un 10% de la inversión a realizar [36]. Otros autores coinciden en sus investigaciones en que los procesos de subasta de APP son más complejos y caros que los de contratos de obra pública tradicional [7]. Finalmente también hay autores que nos indican que las principales razones de los altos costes en las APP son su carácter de contrato a largo plazo, la particular estructura de propiedad, la elevada financiación necesaria, y los importantes riesgos a asumir por las empresas privadas [21].

- **Inversiones de importe significativo.** El importe de la inversión a ejecutar en cada proyecto es muy elevado. Según The World Bank Group [64], durante el año 2019 el importe medio de los proyectos APP licitados en el mundo fue de 92 *MUSD*. El elevado coste de licitación y estudio de ofertas anteriormente mencionado hace que proyectos de tamaño menor no sean rentables bajo un esquema APP.
- **Fuente de financiación para administraciones públicas.** El ganador del proyecto debe de constituir una sociedad con el propósito específico de desarrollar y operar el contrato (*Special Purpose Vehicle* o SPV). Khmel y Zhao nos indican que “*La SPV se crea exclusivamente para la ejecución del proyecto. No tiene historial financiero ni otro activo que el contrato concesional. Se encuentra en el centro de todas las relaciones contractuales y financieras relaciones en los proyectos de APP y no puede realizar ningún otro negocio que no sea el desarrollo del proyecto concesional*” [35]. En la Figura 2.1 se puede ver un esquema societario típico para la ejecución de un proyecto APP.

En el caso de APPs tipo *greenfield*, la SPV no recibe ingresos (o son relativamente pequeños) durante las fases de diseño y construcción, y comienza a percibirlos una vez que la infraestructura se pone en servicio. De esta forma, los proyectos tipo APP permiten a las administraciones públicas ejecutar las infraestructuras necesarias dilatando el pago por ellas, constituyendo, por tanto, una fórmula de financiación alternativa a las tradicionales. Esta es una de las principales ventajas para las administraciones públicas, que pueden ejecutar las infraestructuras necesarias para el desarrollo de sus economías, manteniendo bajo control su nivel de endeudamiento.

ESTRUCTURA TÍPICA DE UN CONTRATO APP

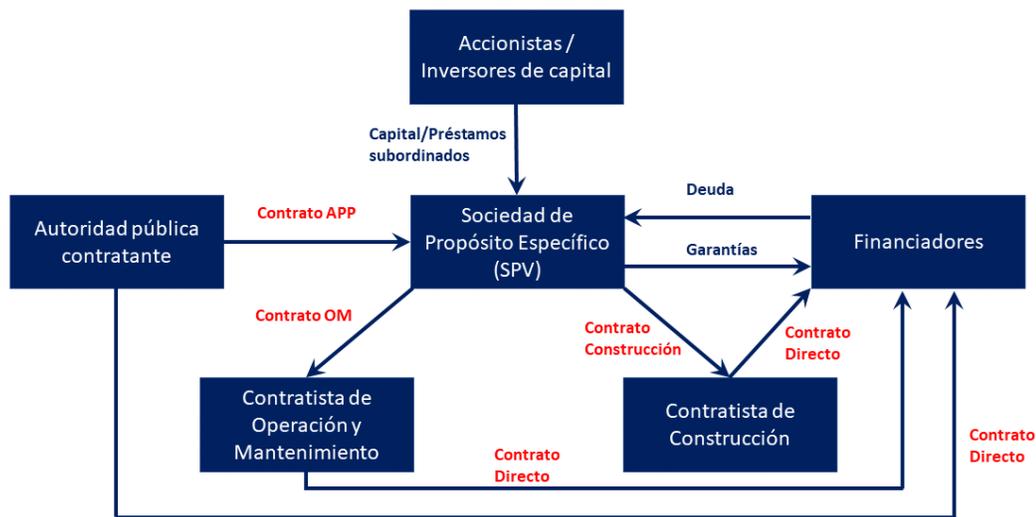


Figura 2.1: Estructura típica de un proyecto APP.

Fuente: elaboración propia basada en *The World Bank Group* [63].

- **Necesidad de inversión de los participantes.** Las SPVs constituidas por los participantes ganadores de un proyecto, deben de acometer la inversión que se necesita para construir y poner en servicio la infraestructura. Habitualmente lo hacen mediante una combinación de capital propio y deuda de entidades financieras. Las empresas privadas buscan alcanzar ratios de endeudamiento elevados, para reducir la exigencia de inyección de capital por parte de los accionistas, al ser éste, generalmente, un recurso escaso. También buscan, de este modo, maximizar el retorno de su inversión. El ratio entre capital propio y financiación externa depende de cada proyecto y zona geográfica, siendo habituales rangos de entre 35 : 65 y 20 : 80. Como ejemplo, según *The World Bank Group* [64], durante el año 2019, el ratio medio en proyectos en mercados emergentes y economías en desarrollo fue del 32 : 68. En la Figura 2.2 se aprecia la estructura típica de financiación de lotes APP en países con economías en desarrollo.
- **Contratos a largo plazo.** El plazo del contrato, que incluye los períodos de diseño, construcción y operación, es generalmente superior a 15 o 20 años. Esto es necesario para permitir que los ingresos del proyecto permitan que los participantes puedan

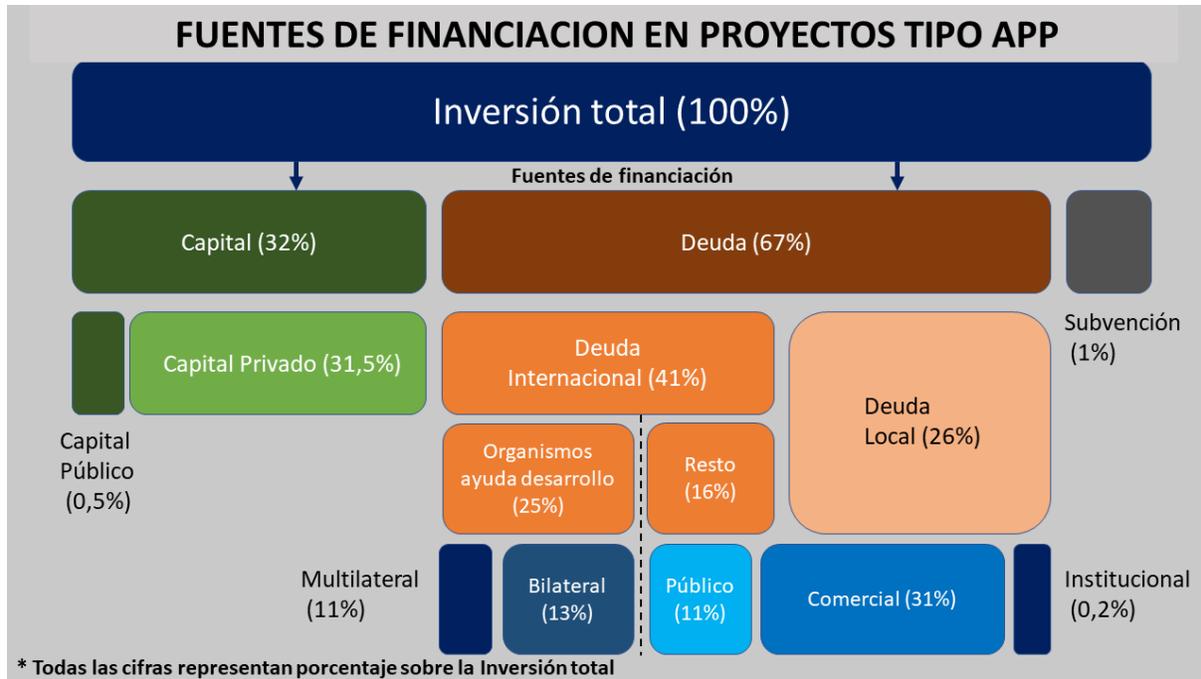


Figura 2.2: Fuentes de financiación de proyectos APP.
Fuente: elaboración propia basada en *The World Bank Group* [64].

amortizar la inversión realizada, recuperar el capital y obtener un beneficio razonable.

2.3. Problemática actual en la licitación de proyectos de APP

Un problema muy habitual en las subastas de proyectos APP es que el número de competidores que pujan por los lotes es bajo, en comparación con otros métodos de ejecución de obra pública menos exigentes. Esto puede redundar en unos mayores costes para las administraciones públicas, derivados de la baja competencia. Los autores A. Estache e Iimi analizaron el efecto que produce la existencia de un nivel de competencia adecuado en las subastas, sobre el coste a pagar por las administraciones en la ejecución de proyectos APP en el sector de infraestructuras viarias y agua [23]. Su conclusión fue que un nivel de competencia óptimo podría reducir los costes en hasta un 8,2%, siendo el diseño de la subasta

un factor muy relevante para alcanzar este objetivo. De forma específica respecto del sector de carreteras, observaron que el coste que debe de pagar la administración, por kilómetro de carretera construido, se reduce conforme se incrementa el número de empresas participantes en las subastas (ver Figura 2.3).

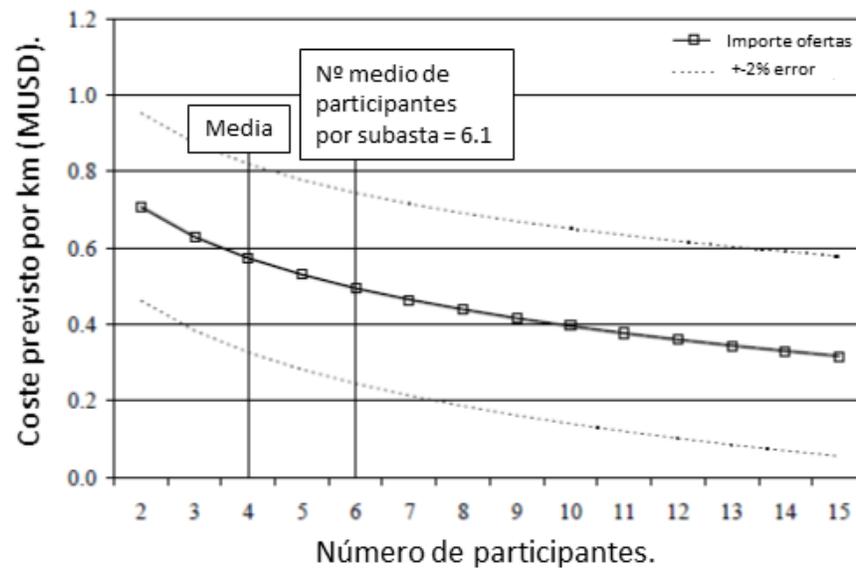


Figura 2.3: Coste por km de carretera en función del número de participantes en la subasta. Fuente: elaboración propia basada en los datos de Estache y Imi [23].

El tamaño de los lotes ofertados es un elemento clave que afecta tanto al número de competidores que participan en la subasta, como al precio final de adjudicación. Estache e Imi realizaron también estudios al respecto [24], concluyendo que incrementar el tamaño del proyecto puede derivar en una rebaja del precio final de las ofertas. Esto se explica por las economías de escala de las que se aprovechan los oferentes. Sin embargo, un proyecto demasiado grande también puede derivar en una reducción de la competencia, pues habrá un número inferior de empresas con capacidad suficiente para afrontar el contrato, debido a limitaciones financieras y de capacidad técnica.

Dadas las características del sector, las subastas combinatorias pueden ser un mecanismo ideal para proporcionar flexibilidad a los participantes, pues tendrán la opción de elegir entre presentar ofertas por uno o por varios lotes. Esto combina las ventajas de ambas alternativas.

Las empresas que no puedan afrontar trabajos de gran tamaño podrán decidir ofertar por un sólo lote, y las que tengan mayor capacidad y se puedan beneficiar de las economías de escala (buscando alcanzar su capacidad óptima), podrán ofertar por varios lotes. De esta forma, se favorece el vital objetivo de fomento de la competencia.

Otra preocupación relevante de los gobiernos es la de evitar el fracaso de los contratos, una vez adjudicados los lotes. Existen diversos factores que pueden entorpecer la ejecución de los proyectos, entre los que destacan: un inadecuado estudio de la oferta por parte de los licitadores, una incorrecta distribución de riesgos entre las entidades públicas y privadas, la selección de una empresa adjudicataria sin la suficiente experiencia o capacidad para llevar a cabo los trabajos, etc [1]. El modelo de subastas independientes incita a que las empresas realicen sus ofertas por lotes, aunque éstos no se adapten bien a sus capacidades. La razón es que, en cada momento, los participantes sólo podrán tomar decisiones sobre su oferta por el lote que se esté subastando en ese momento y, ante el riesgo de no adjudicarse ninguno, se verán tentadas a ofertar, no sólo por los lotes para cuya ejecución estén mejor preparadas, sino también por otros para los que tengan menores capacidades. El modelo de subasta combinatoria reduce este riesgo, pues las empresas pueden escoger de entre todos los lotes, cuales de ellos ofertar, y podrán pujar más agresivamente por los que les aporten mayor valor.

Como resumen, entre los principales problemas a superar en la licitación de proyectos APP se pueden destacar:

- **Para las empresas privadas:** necesidad de poder ofertar más agresivamente por los lotes que más se adecúen a sus capacidades y experiencia, necesidad de recuperar los elevados costes de la oferta, y necesidad de poder ganar, con un beneficio razonable, los lotes que les aporten mayor valor.
- **Para las administraciones públicas:** reducir el precio a pagar a los ganadores, buscando optimizar así el uso de recursos públicos, fomentar la competencia, asegurarse de que las empresas adjudicatarias son las más apropiadas para desarrollar los proyectos adjudicados con la calidad exigida, y minimizar el riesgo de fracaso de los contratos.

Con el objetivo de encontrar la mejor solución para estos problemas, las administraciones públicas realizan grandes esfuerzos para buscar el mejor método de licitación de sus proyectos APP. Se han utilizado diferentes mecanismos para la asignación de múltiples proyectos: lote a lote de forma independiente; o simultáneamente (todos al mismo tiempo), con una o varias rondas [34].

Hay multitud de trabajos, tanto teóricos como empíricos, que afirman que la asignación de lotes relacionados a través de subastas independientes conlleva asignaciones ineficientes. Estos trabajos indican que la existencia de complementariedades entre lotes es el principal motivo de interés para la realización de subastas simultáneas combinatorias [51].

En el sector del transporte se encuentran algunos ejemplos de asignación de servicios públicos mediante el uso de subastas combinatorias. Existen trabajos que analizan la subasta de franjas horarias para uso de pistas en aeropuertos [53], mientras que otros se centran en el transporte de carga en camiones [5]. Adicionalmente, otros trabajos han examinado los beneficios para los transportistas, derivados del uso de subastas combinatorias frente a las subastas independientes de sobre cerrado [60].

Centrándose en el sector de infraestructura de transporte, algunos países han realizado subastas simultáneas donde varios lotes fueron ofrecidos al mismo tiempo. Por ejemplo, en el año 2018, el gobierno de Argentina adjudicó 6 autopistas, en las que, los participantes, tuvieron la oportunidad de ofertar un descuento adicional en el precio, en caso de resultar ganadores de 2 de los lotes [28]. En Suecia, entre 2003 y 2010 se adjudicaron mediante subastas combinatorias 5 tipos de servicios públicos: pavimentación de carreteras, cuidado de personas mayores, servicios de limpieza, servicios de autobús y vuelos domésticos. En ellas se permitió a los participantes la opción de presentar ofertas por paquetes de contratos, así como de declarar su límite de capacidad [41]. Sin embargo, el principal mecanismo de asignación en este sector continúa siendo el de celebración de subastas independientes de lotes individuales, en las que los lotes se asignan uno por uno, en pujas a sobre cerrado, al participante con la oferta más baja. Por el contrario, las subastas combinatorias son aún poco frecuentes.

A continuación, en el Capítulo 3, se procede a analizar el estado del arte en relación a los proyectos APP, a su licitación y a los tipos de subasta utilizados.

Capítulo 3

Estado del arte

En este capítulo se presentan las principales aportaciones relacionadas con este trabajo, con el objetivo de permitir al lector situar y poner en contexto los avances que esta tesis supone, respecto de otros estudios que se han realizado durante los últimos años. Con el objetivo de facilitar la comprensión de la revisión bibliográfica, el capítulo se divide en dos apartados:

- En primer lugar, en el *Apartado 3.1* se señalan trabajos que han realizado una revisión de la literatura existente respecto de proyectos APP, destacando los principales problemas detectados en ellos y los factores críticos para el éxito de los proyectos.
- En el *Apartado 3.2* se analizan trabajos que versan sobre los diferentes sistemas de subasta utilizados, sobre la optimización de los costes de transacción, así como los estudios teóricos sobre subastas múltiples y combinatorias.

3.1. Problemática en los proyectos APP y factores críticos de éxito

Cui et al. [16], en su trabajo, revisaron las publicaciones existentes dentro del marco de las APP, con objeto de presentar el estado actual, explorar las tendencias futuras y definir nuevas áreas de investigación. Para ello, utilizaron un sistema preciso y estructurado de búsqueda a través de seis temas de investigación: la estructura financiera, la viabilidad económica, la gestión de riesgos y los factores de éxito, los mecanismos de licitación y de gestión contractual, la gestión del desempeño, y la gobernanza y regulación. Como conclusión, detectaron importantes áreas con déficits de investigación.

Zhang et al. [68], por su lado, realizaron un análisis equivalente de las investigaciones existentes sobre APPs, centrándose fundamentalmente en aquéllas focalizadas en proyectos APP desarrollados en China. Compararon entre unas publicaciones realizadas en revistas Chinas y otras en revistas internacionales, encontrando que hay más similitudes en los temas investigados que en los métodos de investigación utilizados.

Otra publicación ha centrado su investigación en el análisis de la literatura existente respecto a los procesos de subasta de proyectos APP en el sector del transporte [7]. En ella detectaron carencias de trabajos relacionados con la fase de subasta y licitación de los proyectos, frente a otras áreas como el *Value for Money* (obtener la mejor alternativa con el presupuesto que se tiene) y la gestión de riesgos. Concluyeron que la selección del adjudicatario del proyecto es primordial en proyectos APP, debido al elevado presupuesto de los mismos y el extenso horizonte temporal de los contratos. Como resultado resaltaron que “*es fundamental establecer procedimientos de licitación que fomenten la competencia y se adapten mejor a las características de este mercado en particular*”.

En referencia a la unión de diversas actividades en un mismo contrato (el denominado *Project Bundling*) Grimsey y Lewis [29] comparan la forma de licitación de proyectos tradicional, en la que se separan, en subastas independientes, las diferentes actividades

a ejecutar para la construcción y operación de la infraestructura (diseño, construcción, y operación de la infraestructura), con la licitación de todas esas actividades conjuntamente, dentro de un único contrato de tipo APP. Encuentran claras ventajas en los contratos APP, como la generación de eficiencias productivas al unir los trabajos a ejecutar y la asignación de los riesgos a los actores mejor capacitados para afrontarlos, y también detectan algunas dificultades, como el alto coste de licitación que hace difícilmente viable el desarrollo mediante APP de proyectos de bajo importe.

Otros autores han dedicado sus estudios al análisis de los factores críticos para el éxito de un proyecto realizado bajo el régimen de APP. Uno de los principales trabajos [50] destaca 7 criterios de éxito que señala como especialmente críticos:

1. **Gestión de riesgos efectiva.** Consiste en la correcta identificación de los riesgos asociados al desarrollo de los proyectos, así como en la determinación correcta de cuales de ellos serán soportados por la administración pública, cuales por los participantes privados y cuales serán compartidos entre ambos.
2. **Alcanzar los requerimientos y las especificaciones de funcionamiento** del servicio público exigidas. Esto requiere que la administración pública determine, clara y detalladamente y desde la fase de licitación, los estándares de calidad del servicio que se exigirán durante la operación de la infraestructura.
3. **Operación de los servicios públicos con alta fiabilidad y calidad adecuada,** de forma que se alcancen niveles de satisfacción suficientes para los usuarios finales del servicio público.
4. **Cumplimiento de plazos,** siendo de particular importancia la fecha de puesta en servicio de la infraestructura.
5. **Satisfacción de los servicios públicos** que se quieren proporcionar y para los que se planifica la nueva infraestructura.
6. **Éxito de la asociación a largo plazo.** Los proyectos APP establecen asociaciones

con plazos de hasta 25 años o incluso superiores, por lo que, la cordialidad entre todas las partes involucradas, incluyendo administración, participantes privados, usuarios y grupos de interés, es de elevada importancia.

7. **Obtención de un beneficio** adecuado por parte de las empresas privadas que se adjudican los contratos.

La gestión eficaz de riesgos destaca, en primer lugar, dentro de los criterios de éxito comentados. Por ello, durante este trabajo se prestará especial atención a este factor. Es una de las razones por las que es tan relevante que los mecanismos de subasta permitan que se asigne la ejecución de los contratos APP a los participantes más cualificados para su desarrollo, como se ha indicado anteriormente. En este mismo sentido, Ahmadabadi y Heravi [1] señalan como el primer factor crítico para el éxito de un proyecto APP durante su fase de construcción, su adjudicación a una empresa o un consorcio privado con las suficientes garantías.

Dixon, Pottinger y Jordan [20] han investigado los criterios de éxito en contratos APP desarrollados en el Reino Unido, poniendo de manifiesto que el alto coste de los procesos de subastas es una característica específica de los proyectos de APP que, junto al gran tamaño de los proyectos, con frecuencia actúa como barrera de entrada, que limita la competencia. La falta de competencia puede impedir el acceso a las licitaciones de las empresas privadas mejor capacitadas, y derivar en situaciones donde las administraciones públicas adopten decisiones no óptimas. En particular, Li et al. [39] destacan que el error en la elección de un adjudicatario, escogiendo uno que no tenga la suficiente capacidad y solvencia, es el principal riesgo que puede llevar al fracaso de un contrato APP.

Existen diversos estudios que han examinado los principales problemas encontrados en las licitaciones de APPs. Uno de ellos, concluye que el desempeño global de los contratos en régimen de APP está severamente afectado por el éxito de los procesos de licitación, y que depende, en gran medida, del nivel de competencia [37]. Por su lado, Liu, Wang y Wilkinson [40] destacan la carencia de estudios que ofrezcan una guía específica sobre cómo mejorar la

eficacia y eficiencia de los procesos de licitación, existiendo un amplio campo para futuras investigaciones.

Otro trabajo, publicado en 2022, realizó un interesante estudio, en el que se exploran los factores que fomentan la participación de empresas privadas en licitaciones de APP en China, teniendo en consideración las singularidades de esta economía, donde el mercado es habitualmente dominado por grandes empresas públicas [9]. Destacan, como principales factores determinantes para las empresas privadas, su capacidad financiera y técnica. La primera, como un limitante a la participación en proyectos de gran escala y la segunda, como una ventaja competitiva que puede favorecer su participación en los proyectos que requieran de ella. Asimismo destacan las características más relevantes de los proyectos que influyen en el fomento o la desincentivación de la participación privada, siendo éstas el reparto de riesgos y el tamaño de las inversiones a acometer.

3.2. Diseños de licitaciones de proyectos APP

Gobiernos y organizaciones internacionales también han realizado interesantes estudios en los que analizan los factores clave en el diseño y la licitación de proyectos APP. Kerf et al. [34] pretenden ayudar a los responsables de la formulación de políticas públicas a comprender mejor algunos de los aspectos más importantes y complejos relacionados con el diseño, la adjudicación, la ejecución, el seguimiento y, por último, la modificación, de los contratos APP.

Una investigación del año 2016 desarrolló un interesante modelo para la selección óptima del tipo de licitación a realizar, buscando minimizar los costes de transacción para las administraciones públicas¹ [6]. Su modelo se basa en una serie de factores clave, como son: la cantidad de información manejada durante el proceso de licitación, el número de participantes

¹Los costes de transacción son el conjunto de los costes en que la administración pública o los licitadores deben de incurrir para el desarrollo completo de un proyecto APP. Incluyen desde los costes previos a la adjudicación del contrato (informes, estudio, licitaciones, proyectos técnicos, firma de contratos, etc.), como los posteriores asociados a la gestión del contrato (seguimiento, control, negociación, etc.).

en el proceso, el tamaño del proyecto y su complejidad, y el entorno institucional. Indican que los costes de transacción son claramente superiores en un contrato tipo APP respecto de los de un contrato tradicional, por lo que es de vital relevancia en aquél tipo de contratos realizar un análisis exhaustivo de la decisión a tomar respecto de que tipo de proceso de licitación utilizar. También destacan la importancia de seleccionar, de entre los posibles licitadores, a aquéllos con una mayor experiencia en proyectos similares y mayor capacidad financiera, para reducir el riesgo de incumplimiento de los requisitos del contrato. Respecto del tamaño de los proyectos, ponen de manifiesto que los costes de transacción asociados al proceso de adjudicación de cada lote son, en términos de valor absoluto, relativamente independientes del importe del contrato, por lo que puede resultar de interés licitar lotes de tamaño elevado, para reducir el impacto de aquéllos en términos relativos. Concluyen que existen potenciales ahorros relevantes en los costes de transacción de las autoridades públicas, en función del tipo de subasta que realicen. Sin embargo, no estudiaron y dejaron para posteriores investigaciones el análisis del impacto sobre los costes de transacción de los participantes privados, y tampoco incluyeron las subastas combinatorias entre las tipologías de licitación analizadas.

Relacionado con lo anterior, Sanchez y Gago de Santos [57] analizan los costes de transacción soportados por las administraciones públicas en proyectos tipo APP, en función del tipo de subasta utilizado. Los autores comparan entre los costes de transacción derivados de una licitación mediante un procedimiento negociado, en el que la administración invita solamente a una serie de empresas predefinidas y se negocia entre ellas, y los de otro abierto, al que puede acudir cualquier empresa que cumpla con los requisitos exigidos. Concluyen que el procedimiento abierto puede generar importantes ahorros.

Complementando lo anterior, también hay investigaciones que han puesto un especial énfasis en los costes de transacción, ahora desde el punto de vista de los participantes privados. Por un lado, De Clerck y Demeulemeester [18] han desarrollado un modelo teórico que simula el proceso de licitación, incluyendo participantes con diferentes estructuras de costes, y diverso nivel de experiencia previa. Estos participantes tendrán, por tanto, diferente capacidad e interés por realizar las inversiones necesarias para estudiar los proyectos y

establecerán un objetivo de beneficio diferente para definir el precio de su oferta. Esto impacta en la probabilidad de que realicen una oferta competitiva y resulten ganadores. Los autores concluyen que la existencia de una cartera de varios proyectos incentiva la competencia, y se traduce en ofertas más agresivas y en menores costes para los gobiernos. Su modelo refleja exclusivamente el resultado de una serie de subastas independientes de un lote para asignar los diferentes proyectos a ejecutar. A diferencia del trabajo que se presenta en esta tesis, no han incluido el concepto de limitación de capacidad de los participantes que, en un escenario real, resultaría en una mayor competencia por los primeros lotes licitados, y menor por los últimos.

Por otro lado, De Clerck y Demeulemeester [17] han analizado diferentes mecanismos que podrían ser implantados por las administraciones para favorecer la competencia en las subastas de proyectos APP, y superar las dificultades derivadas de los elevados costes de estudio de las ofertas. Entre éstos destaca el establecimiento de un pago a los licitadores que no resulten ganadores de la subasta, de forma que puedan compensar parcialmente los costes de estudio de la oferta.

En referencia a un área cada día más relevante, Hueskes, Verhoest y Block [30] se han centrado en estudiar cómo incorporar criterios de sostenibilidad en los proyectos de infraestructura en régimen de APP.

Específicamente en el sector del transporte, una referencia obligada es el libro *Public private partnerships in transport: trends and theory* [56], que reúne datos de proyectos desarrollados bajo esquemas APP en 29 países diferentes, generando una estandarización en la forma de llevar a cabo investigaciones futuras.

También cabe citar otras contribuciones centradas en casos reales como:

- Un trabajo del año 2012, centrado en Taiwan [10], traslada experiencias genéricas de proyectos APP a la ejecución de proyectos de ferrocarriles de alta velocidad bajo régimen APP, concluyendo que gran parte de la experiencia general es aplicable a estos

proyectos.

- Otra investigación del año 2012 sobre una autopista holandesa denominada A15 desarrollada bajo régimen APP, estudió la forma en la que, la respuesta de los gestores de proyectos APP a las diversas contingencias, afecta a la obtención de resultados satisfactorios [67]. Concluye que tanto las administraciones públicas como las empresas privadas deben invertir suficientes recursos en la gestión de las diferentes partes interesadas en proyectos. Las administraciones públicas desempeñan un papel importante como intermediarios entre el contratista y los actores locales, que no debe de subestimarse.
- Otro estudio del año 2015 profundiza sobre elementos que deben de evitarse al planificar proyectos APP, para evitar su fracaso. Se basa en experiencias de desarrollo de proyectos APP de infraestructura de transporte en Portugal [42].
- Existen también trabajos que revisan los principales programas de financiación de contratos APP ejecutados por las autoridades de la UE. Un trabajo del 2017 evalúa en qué medida el apoyo europeo se ha canalizado correctamente hacia los proyectos de APP, basando su estudio en el desarrollo de proyectos APP de autopistas españolas [27].
- Por último, [38] investigaron el riesgo financiero asociado con proyectos de infraestructura vial en la India, mediante la identificación de parámetros como el flujo de vehículos y el coste del proyecto.

Con la finalidad de hacer más eficientes y optimizar el funcionamiento de las subastas tradicionales, se han estudiado los impactos derivados de que los lotes a subastar sean bienes relacionados [33]. Indican que, en subastas que exigen inversiones iniciales elevadas, es frecuente encontrar complementariedades entre los lotes subastados. En este trabajo analizaron también las limitaciones de capacidad en los participantes, que implican que, para ellos, los lotes puedan llegar a ser sustitutivos. Esto les llevará a realizar ofertas menos agresivas cuando hayan ganado algún lote previamente. Otro trabajo de los mismos autores

estudia los efectos provocados por las limitaciones de capacidad en subastas independientes de un lote [32].

En relación a las subastas óptimas, Myerson [49] presentó el primer trabajo sobre ellas, introduciendo el concepto de subasta óptima como aquella que en la que se maximiza el beneficio que obtiene el subastador. Posteriormente, este tema ha sido desarrollado por numerosos autores, entre los que se pueden destacar las aportaciones de Riley y Samuelson [54], Cremer y McLean [14], Bulow y Klemperer [4] así como también las de Engelbrecht-Wiggans [22] para subastas de múltiples lotes.

En el año 2005, De Silva [19] estudió las sinergias existentes en subastas independientes, destacando las sinergias existentes entre varios proyectos cuando se encuentran geográficamente relacionados. Éstas pueden derivar de que un participante haya resultado adjudicatario de otros lotes en la misma zona, así como de que tenga experiencia local, por haber ejecutado previamente proyectos en la misma área. Asimismo se menciona que un participante sin limitaciones de capacidad ofertará más agresivamente que otro que sí las tenga. Este autor basó su estudio en los datos obtenidos de la licitación de varios lotes de carreteras en Oklahoma entre los años 1997 y 2000.

En lo que respecta al análisis con subastas del tipo combinatorio, destaca el trabajo basado en el caso real de las subastas desarrolladas en Suecia entre los años 2003 y 2010 [41]. Este autor indica que la subasta combinatoria “*Permite que tanto los proveedores más pequeños como los más grandes presenten ofertas más competitivas en más contratos, sin estar expuestos al riesgo de ganar muy pocos contratos, o de ganar demasiados.*” Tomando los datos de las mencionadas subastas, realizó las siguientes preguntas:

- ¿En qué medida utilizaron los participantes la opción de presentar **ofertas por paquetes**?
- ¿Los participantes obtendrían **sinergias** al adjudicarse contratos de mayores volúmenes?
- ¿Fue **más frecuente la adjudicación de paquetes** o, por el contrario, de lotes

independientes?

- ¿Qué diferencia hubiese existido en el **precio global de adjudicación** de todos los lotes bajo la hipótesis de que los contratos se asignasen a las ofertas más bajas, excluyendo las ofertas realizadas por paquetes, en comparación con la adjudicación incluyendo también las ofertas realizadas por paquetes?

Para obtener sus conclusiones estudió el resultado de la realización de 5 subastas de servicios públicos diferentes, en las que se permitió a los participantes la opción de realizar sus ofertas por lotes individuales o por paquetes, así como manifestar su límite de capacidad. Resultó que, de media, más de un 60 % de los contratos se adjudicaron en paquetes, obteniendo la administración descuentos adicionales de más del 2 %, derivados de haber permitido ofertas por paquetes.

En el Capítulo 4, se realiza un estudio detallado de los mecanismos de subasta alternativos analizados en este trabajo.

Capítulo 4

Mecanismos de subastas analizados

En este capítulo, se explican en detalle los dos mecanismos de subasta que se comparan en este trabajo. Está estructurado en los siguientes apartados.

- En el *Apartado 4.1* se analizan las subastas independientes de un lote.
- El *Apartado 4.2* se dedica a analizar las subastas combinatorias.
- Finalmente, en el *Apartado 4.3* se presentan las características necesarias que debe de tener el conjunto de infraestructuras que la administración pretende licitar, para que sea eficiente plantear una subasta combinatoria, como la que se presenta en esta investigación.

4.1. Subastas independientes de un lote

Cuando un subastador está interesado en adjudicar un conjunto de lotes APP relacionados $j = (1, 2, \dots, M)$, entre varios participantes $i = (1, 2, \dots, N)$, puede hacerlo ofreciéndolos en una serie de subastas independientes de un lote. El subastador buscará minimizar la cantidad que debe de pagar a cada uno de los participantes ganadores, para que desarrollen los contratos.

Respecto al procedimiento de puja, el subastador puede optar entre realizar una subasta dinámica o una subasta a sobre cerrado:

- **Subastas dinámicas:** los participantes tienen más de una oportunidad de puja. Durante el desarrollo del proceso, podrán obtener cierta información sobre la evolución de los precios. Estas pujas reciben el nombre de pujas abiertas o públicas y pueden realizarse de dos formas:
 1. *Pujas en rondas discretas:* cuando los participantes envían sus pujas en diferentes momentos en el tiempo, espaciados entre sí.
 2. *Pujas continuas:* cuando los participantes pujan de forma continua, durante un periodo limitado de tiempo.
- **Subastas de una ronda:** los participantes sólo tienen la opción de enviar una puja en una única ronda, son las denominadas pujas a sobre cerrado.

Para determinar el precio que debe recibir el participante ganador, la subasta puede ser de primer precio, cuando el participante ganador recibe el precio que ha ofertado, o de segundo precio, cuando el ganador recibe el precio ofertado por el participante que quedó en segunda posición, es decir, la segunda mejor puja.

Una de las principales razones por las que las administraciones públicas han utilizado para adoptar subastas independientes de un lote de primer precio, es su sencillez y transparencia.

En este trabajo, se han analizado subastas independientes de un lote de una ronda, a sobre cerrado y de primer precio, pues éste es el mecanismo usado con mayor frecuencia en el sector de APPs de infraestructura de transporte y el que se utilizó en el proceso colombiano de las 4G¹. En estas subastas los participantes realizan ofertas por M lotes, heterogéneos

¹El proceso de licitación de las 4G incluyó determinadas reglas para evitar adjudicar los lotes a ofertas demasiado bajas (temerarias). No se ha considerado relevante incluir éstas reglas en el modelo, ya que no tiene impacto para este estudio, donde se busca analizar comparativamente la eficiencia de la subasta independiente de un lote frente a la combinatoria. Si una administración considerase necesario establecer alguna regla de este tipo, ésta tendría un efecto similar en ambos modelos, por lo que no invalida las conclusiones obtenidas.

pero relacionados, en M subastas independientes de un lote. En cada subasta se ofrece un único lote j , y cada participante i presenta su oferta para ese lote, que se denomina como $b_{i,j}$. La oferta $b_{i,j}$ expresa el menor importe que el participante está dispuesto a recibir para ejecutar el proyecto. El participante i gana el lote ($q_{i,j}^* = 1$) sólo en el caso de que presente la oferta más baja: $b_{i,j} = b_j^*$. Recibirá una cantidad igual a p_j^* , que dependerá de la regla de precio que se haya seleccionado para la subasta. Cuando se aplica la regla de primer precio, el participante ganador recibirá el importe definido en su oferta ($p_j^* = b_j^*$). En el caso de que el participante i no oferte el precio más bajo, no ganará el lote ($q_{i,j}^* = 0$).

Una vez realizadas todas las subastas independientes de un lote, el pago total del gobierno a cada participante i será igual a la suma del precio ofertado en todos lotes de los que haya resultado ganador:

$$P_i^* = \sum_{j=1}^M p_j^* q_{i,j}^*. \quad (4.1)$$

donde

- P_i^* = Pago total al participante i ,
- p_j^* = Precio de adjudicación del lote j ,
- $q_{i,j}^*$ = Variable de valor binario que indica con valor 1 si el participante i es ganador del lote j y 0 cuando no lo es.

El coste total para la administración pública será igual a la suma de los pagos a realizar a todos los participantes ganadores de lotes:

$$R^* = \sum_{i \in W} P_i^*, \quad (4.2)$$

donde W es el conjunto de participantes ganadores.

Uno de los principales objetivos de las administraciones públicas que desean licitar lotes APP, es definir un proceso de subasta que resulte en la asignación de los lotes al mínimo precio. Como se ha indicado en el Apartado 1.2, cuando se cumple esta característica se denomina subasta óptima [44]. Este es un objetivo fundamental por su efecto sobre los presupuestos públicos, pero las administraciones también tendrán que asegurarse de que los contratos sean ejecutados con la calidad requerida, y minimizar el riesgo de fracaso de los mismos.

A pesar de que las subastas independientes de un lote constituyen el mecanismo más común en el sector, tienen importantes carencias, especialmente en los casos en que los lotes subastados sean lotes relacionados.

Un ejemplo es cuando los lotes ofertados son complementarios para alguno de los participantes, ya que éstos no podrán reflejar la valoración complementaria en su estrategia de oferta, y consecuentemente no podrán hacer una oferta más baja por esos lotes. La razón es que no tendrán la seguridad de poder ganar el conjunto de lotes que les generan las sinergias.

Las subastas independientes tampoco favorecen que el resultado sea eficiente, pues no facilitan que los lotes se adjudiquen a los participantes que más los valoran. Por ejemplo, un participante A, con una capacidad de inversión limitada, que sólo pueda ejecutar un único proyecto, pero que sea, de entre todos los participantes, el que más valora el lote que se licita en último lugar. Este participante A se verá empujado a presentar ofertas por los primeros lotes, de menor interés para él, para evitar el riesgo de no ganar ninguno de ellos. Si resultase adjudicatario de alguno de estos primeros lotes, ya habrá alcanzado el límite de su capacidad de inversión, y se verá desincentivado a ofertar, o incluso no llegará a presentar oferta, por aquel último lote, para el que era el participante con mayor valoración.

Otro problema, también derivado de la incertidumbre respecto del resultado de las subastas futuras, es que los participantes ganadores de los primeros lotes subastados podrán, llevados por el miedo a no ganar ningún contrato, realizar una oferta demasiado baja, y verse posteriormente obligados a ejecutar el contrato por un importe insuficiente, con la consecuente problemática asociada. Por el contrario, podrán no realizar ofertas competitivas,

y no lograr su objetivo de ganar alguno de los lotes.

En resumen, dada la incertidumbre sobre el resultado de las subastas futuras, al ser cada una de ellas independientes, las predicciones que hagan los participantes serán a menudo equivocadas, y esto se materializará en una ineficiente adjudicación de los lotes.

4.2. Subastas combinatorias

En las subastas combinatorias, se ofrecen todos los lotes de forma simultánea en una única subasta. En ella los participantes pueden realizar sus ofertas, bien por lotes individuales, bien por una determinada combinación de ellos en la que estén interesados. Por ejemplo, se supone una subasta con 3 lotes: A, B y C. Cada participante podrá ofertar cualquier combinación de lotes de entre las siguientes: A; B; C; AB; AC; BC; ABC.

Este tipo de subastas son particularmente adecuadas cuando se ofrecen lotes heterogéneos pero relacionados, con valoraciones tanto sustitutivas² como complementarias³ pues las estrategias de oferta de los participantes permiten reflejar ambas valoraciones.

En las subastas combinatorias múltiples lotes relacionados $J = (1, 2, \dots, M)$ son ofrecidos a varios participantes $I = (1, 2, \dots, N)$. Cada participante i puede realizar ofertas por un lote o por una combinación de varios de ellos. Cada combinación de lotes, conocida como paquete se representa como $S \subseteq J$. La oferta del participante i por el paquete S se representa como $b_i(S)$.

De entre todas las ofertas realizadas por los participantes, el subastador determinará las ofertas ganadoras, que serán aquéllas que minimicen su pago total, si el subastador está contratando un proyecto (o bien maximicen su ingreso total, si el subastador está vendiendo

²Lotes sustitutivos son aquéllos en los que el participante valora en menor importe el conjunto de lotes que la suma individual de cada uno.

³Lotes complementarios son aquéllos en los que el participante valora más el conjunto de lotes que la suma individual de cada uno.

un lote). En el caso específico que se estudia en este trabajo, se busca la primera opción indicada, esto es, la combinación de ofertas que minimice el importe total a pagar por la administración pública, condicionado que se adjudiquen todos los lotes y que cada uno se adjudique sólo una vez. La resolución de este problema se denomina el *Winner Determination Problem*, *WDP*, cuya formulación matemática se indica en la Ecuación (4.3):

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{S \subseteq J} b_i(S) x_i(S), \quad (4.3)$$

Sujeto a:

- (1) $\sum_{S \supseteq \{j\}} \sum_{i \in I} x_i(S) \leq 1; \forall j \in J,$
- (2) $\sum_{S \subseteq J} x_i(S) \leq 1; \forall i \in I,$
- (3) $x_i(S) \in \{0, 1\}; \forall S \in J; \forall i \in I.$

La resolución de este problema determina, entre todas las posibles combinaciones de ofertas, aquella que minimiza el pago por parte del subastador. La restricción (1) asegura que cada lote es adjudicado como máximo, a un participante, esto es, que se ha realizado una asignación de lotes compatible. La restricción (2) limita la solución del problema, de forma que cada participante gane como máximo un paquete. Esto significa que las ofertas son mutuamente excluyentes. Finalmente, de acuerdo con esta formulación, $x_i(S)$ es una variable binaria, que es igual a 1 cuando un participante es ganador y a 0 cuando no lo es (restricción (3)).

A este esquema de resolución del WDP se le denomina *XOR bidding language*. Resolver el WDP es un problema NP-completo [58], cuya resolución requiere, en cuanto la dimensión del problema crece, al hacerlo el número de participantes, pujas y posibles combinaciones de lotes, de la utilización de técnicas de computación avanzadas.

Tras obtener la combinación ganadora, los pagos finales a realizar por la administración a los participantes ganadores dependerán de la regla de precio utilizada. A igual que en el modelo de subasta independiente de un lote en esta tesis, se ha utilizado la regla de primer precio, de forma que cada participante ganador obtiene un pago por la ejecución del lote igual al precio indicado en su oferta.

$$P_i^* = b_i^*(S). \quad (4.4)$$

El pago total, que la administración pública realizará a los participantes ganadores, será igual a la suma de los valores de cada oferta ganadora.

$$R^* = \sum_{i \in W} P_i^*, \quad (4.5)$$

donde W es el conjunto de participantes ganadores.

A continuación se ha incluido un ejemplo de resolución del WDP para una subasta combinatoria.

Ejemplo: WDP en subastas combinatorias

El siguiente ejemplo muestra cómo resolver el WDP en una subasta combinatoria en la que el subastador desea adquirir los siguientes artículos: A, B y C.

Cada postor puede proponer hasta siete ofertas, una por cada artículo y combinaciones de artículos: A, B, C, AB, AC, BC y ABC. Suponiendo que hay tres participantes en esta subasta, la Tabla 4.1 representa las propuestas realizadas por cada uno de ellos en una subasta combinatoria de oferta cerrada (a una sola ronda) en la que se establece la regla de primer precio.

Con las ofertas remitidas, hay muchas formas posibles de asignar los artículos. Sin embargo,

resolver el WDP requiere identificar, entre todas las posibles soluciones, aquella que minimice el precio a pagar por el subastador por las ofertas aceptadas (en otras subastas en las que, por ejemplo, el subastador desea vender los artículos entre los participantes, también se puede buscar maximizar el precio a recibir por el subastador, al contrario de lo mostrado en este ejemplo).

Tabla 4.1: Ofertas realizadas por los participantes.

S	b_1^*	b_2^*	b_3^*
A	80	100	100
B	80	80	100
C	100	100	80
AB	190	219	220
AC	250	300	275
BC	300	400	300
ABC	500	520	550

Fuente: elaboración propia.

Una combinación posible sería adjudicar los artículos AB al primer postor y el artículo C al segundo. Con esta asignación, el valor de WDP es igual a $b_1^*(AB) + b_2^*(C) = 190 + 100 = 290$. Si bien esta combinación es factible (el mismo artículo no se adjudica a diferentes postores) y cumple con la condición de las ofertas XOR, no es una asignación eficiente ya que no minimiza la suma de las licitaciones aceptadas.

En este ejemplo, la combinación de ofertas ganadoras que resuelve el WDP es $b_1^*(A) + b_2^*(B) + b_3^*(C) = 80 + 80 + 80 = 240$, ya que es la que minimiza el precio a pagar por el subastador para adquirir los artículos, cumpliendo las restricciones XOR.

Otra combinación con el mismo valor de WDP es $b_1^*(A) + b_1^*(B) + b_3^*(C) = 80 + 80 + 80 = 240$. Sin embargo, esta combinación no satisface la restricción de tener ofertas excluyentes, las ofertas no son XOR porque el primer postor ha ganado dos ofertas diferentes.

4.3. Los lotes APP y las subastas combinatorias. Casos reales.

En este apartado, se analizan las características que han de tener los proyectos APP y la configuración que ha tener el mercado donde se van a ejecutar las infraestructuras, para que sea eficiente para una administración pública realizar la asignación de los proyectos mediante una subasta combinatoria:

- Los proyectos deben de ser **lotes relacionados: sustitutivos o complementarios**. En el caso de lotes de carreteras, el carácter de lote sustitutivo vendrá derivado principalmente de la capacidad máxima que tengan los participantes para ejecutar varios lotes simultáneamente. El carácter de complementariedad vendrá derivado de dos circunstancias: por un lado, del objetivo de adjudicación de los participantes, por un número de lotes tal, que alcancen la cantidad de inversión y ejecución de obra que consideren óptima y, por otro lado, de la propia ubicación geográfica de los lotes, y de las posibles economías de escala derivadas de ejecutar lotes cercanos el uno del otro.
- Los lotes deben de ser **subastados y ejecutados en un mismo espacio temporal**. Es necesario que la administración pública tenga intención de desarrollar un plan de infraestructuras (carreteras, hospitales, etc.) en un periodo de tiempo corto. En caso contrario no tendría sentido subastarlos conjuntamente en una subasta combinatoria. Esto implicará para las administraciones públicas una carga de trabajo elevada, al tener que desarrollar simultáneamente los trabajos de preparación de las subastas de todos los lotes.
- Los proyectos deben de ser **técnicamente similares**: las obras a ejecutar y los servicios a proveer por las empresas adjudicatarias de los lotes deben de tener características técnicas y operativas semejantes. De esta forma se facilitará que una misma empresa pueda tener la capacidad de ejecutar y estar interesada en varios de ellos, favoreciendo las valoraciones complementarias. Si todos los lotes consisten en la ejecución del mismo

tipo de infraestructura, por ejemplo dos carreteras, aún con características técnicas diferentes, la complementariedad será mucho más fácil de encontrarse que si uno es una carretera y el otro un aeropuerto.

- Los contratos deben de ser **licitados bajo las mismas reglas**: misma legislación, y requerimientos de condiciones técnicas y administrativas. De esta forma se facilita que las empresas privadas participantes puedan utilizar el conocimiento adquirido al estudiar un lote en el resto de los que se oferten.
- Deben de existir una serie de **potenciales participantes en las subastas**, que tengan interés en varios de los lotes a la vez, y capacidad para ejecutarlos simultáneamente. De esta forma, aquéllos podrán plantearse participar en la subasta combinatoria y presentar ofertas por una combinación de lotes.

En tiempos recientes se pueden encontrar múltiples ejemplos de conjuntos de lotes APP que reúnen las características necesarias para implementar una subasta combinatoria. No obstante, en todos los casos fueron subastados mediante sucesivas subastas independientes. Varios ejemplos son:

- Entre los años **1998 y 2000 el Ministerio de Fomento español adjudicó nueve autopistas de peaje** en régimen de APP (ver Tabla 4.2). Seis de estos lotes fueron adjudicados a consorcios de empresas en los que participó la española Abertis. Otras empresas españolas relevantes, como Sacyr, Dragados y Ferrovial, participaron en consorcios de empresas que ganaron dos de los contratos.
- Entre **2004 y 2007** la Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid desarrolló un programa para la construcción de **siete hospitales bajo el modelo de APP** (ver Tabla 4.3). Dos de ellos fueron adjudicados a Sacyr, y otros tres al fondo de inversión británico Aberdeen.
- En **Chile, entre 1996 y 1998**, se adjudicaron **ocho tramos de la autopista** que cruza el país de norte a sur (Ruta 5), también bajo un esquema de APP, representando

Tabla 4.2: Autopistas en régimen APP adjudicadas en España entre 1998 y 2000.

Lote	Año de subasta
Alicante - Cartagena	1998
Estepona - Guadiaro	1999
Radiales 3 y 5 Madrid - Arganda y Madrid - Navalcarnero	1999
Santiago - Alto de Santo Domingo	1999
Ávila - Villacastin	1999
Segovia - El Espinar	1999
León - Astorga	2000
R2 Madrid - Guadalajara	2000
R4 Madrid - Ocaña	2000

Fuente: elaboración propia basada en Ministerio de Fomento [43].

Tabla 4.3: Hospitales en régimen APP adjudicados por la Comunidad de Madrid en España en 2005.

Lote	Año de subasta
H. del Henares (Coslada)	2005
H. Infanta Cristina (Parla),	2005
H. del Tajo (Aranjuez)	2005
H. Infanta Leonor (Vallecas)	2005
H. Infanta Sofía (San S. de los Reyes)	2005
H. del Sureste (Arganda)	2005
H. Puerta de Hierro (Majadahonda)	2005

Fuente: elaboración propia basada en Comisión Nacional de la Competencia [13].

alrededor de 1500 km de vía. Todos los tramos fueron concebidos con estándares de calidad homogéneos y sus subastas realizadas bajo bases de licitación similares (ver Tabla 4.4).

Tabla 4.4: Autopistas en régimen APP adjudicadas en Chile entre 1997 y 1998.

Ruta	Tramo	Año de subasta
15/57	Santiago - Los Andes	1997
5	La Serena-Los Vilos	1996
5	Temuco-Río Bueno	1996
5	Chillán-Collipulli	1996
5	Río Bueno-Puerto Montt	1997
5	Collipulli-Temuco	1997
68	Santiago-Valparaíso	1996
5	Santiago-Talca	1998

Fuente: elaboración propia basada en MOP Chile [48].

Inicialmente el gobierno de Chile se planteó licitar la ruta completa como un único lote [15], pero descartó la opción debido a que se pudieran crear prácticas monopolísticas,

pues en ese caso una misma empresa hubiera podido gestionar todos los tramos de la ruta. En el Capítulo 10 se comentan posibles mecanismos para evitar la excesiva concentración de adjudicaciones sobre un mismo participante, y las consecuentes posibles prácticas monopolísticas.

Las licitaciones fueron lanzadas por el mismo subastador, en un corto período de tiempo (1997 y 1998) y bajo las mismas leyes y reglas. De esta forma, un mismo contratista podría tener interés en varios de los contratos de APP al mismo tiempo. En concreto, las empresas Sacyr y Ferrovial resultaron adjudicatarias, respectivamente, de tres lotes en una zona geográfica (La Serena–Los Vilos, Río Bueno–Puerto Montt, Santiago–Valparaíso) y de dos lotes en otra área (Temuco–Río Bueno, Collipulli–Temuco). En muchos mercados, como el sector de APP chileno, es común encontrar empresas privadas interesadas en más de un contrato. El ranking de los principales ganadores de lotes APP en Chile se resume en un documento elaborado por el gobierno chileno [48], ordenados por número de lotes ganados (ver Tabla 4.5).

Tabla 4.5: Ganadores por número de lotes APP en Chile, Marzo 2016.

Licitador	Número de lotes
Belfi	8
CMB	7
Sacyr	7
Abertis	6
Costanera	5
ISA	5
Fondo de inversión Penta	5

Fuente: elaboración propia basada en MOP Chile [48].

- Recientemente se ha publicado un trabajo que analiza la licitación de **21 autopistas APP en Portugal en las últimas dos décadas** [59]. Se identificaron 25 empresas que presentaron al menos una oferta (individual o como parte de un consorcio) y colectivamente hicieron 282 ofertas. Eso significa que, en promedio, cada empresa presentó ofertas sobre 11 de los 21 lotes ofrecidos.
- **Canadá** es uno de los países con un mercado de proyectos APP más avanzados y sofisticados. En el **período 2006 - 2007**, *Infrastructure Ontario* lanzó la licitación de

20 lotes en el sector sanitario. Dichos lotes fueron adjudicados entre ocho empresas (ver Tabla 4.6). Cinco de ellas ganaron más de un lote: una empresa dos lotes, tres empresas ganaron tres lotes y una empresa ganó seis lotes.

Esta es otra muestra de la existencia de empresas que podrían presentar ofertas por varios lotes en una subasta combinatoria.

Tabla 4.6: Ganadores de licitaciones APP en el sector sanitario en Canadá entre 2006 y 2007.

Año	Nº lotes	Lote	Ganador
2006	14	Rouge Valley HS and Ajax and Pickering Hospital	AECON
		Runnymede Hospital Toronto	Bondfield Constr.
		St. Joseph's Hospital - Governor St. Site	D. Grant and Sons
		Niagara Hospital - St Catharine's Hospital	PCL Constr. and others
		Trillium Hospital Redevelopment	EllisDon
		H Regional of Sudbury Regional Hospital	EllisDon
		Bluewater Health - Sarnia Hospital	EllisDon
		Hamilton General Hospital	EllisDon
		London Hospital Centre and St. Joseph's Hospital	EllisDon
		Sault Area Hospital	EllisDon and others
		Henderson General Hospital - Hamilton	Fengate C, Hamilton
		Quinte HC Belleville Site	M. Sullivan and Son
		Ottawa Cancer Centre	PCL Constr.
		Sunnybrook Hospital Centre	Vanbots Constr.
2007	6	Toronto - University Av Site	AECON
		Lakeridge Health Redevelopment	AECON
		Credit Valley Hospital Phase II	Bondfield Constr. Co.
		Kingston Hospital Developments	PCL Constr.
		Royal Victoria Hospital - Barrie	Vanbots Constr.
		Windsor Western Campus	Bondfield Constr. Co.

Fuente: elaboración propia basada en Infraestructure Ontario [31].

- En el proceso de licitación de los **nueve lotes de la segunda ola de los procesos 4G de Colombia**, analizados en este trabajo, la Agencia Nacional de Infraestructuras (ANI) desarrolló previamente un proceso de precalificación⁴. Algunas empresas se postularon y precalificaron para varios lotes. En la Tabla 4.7 se pueden ver las nueve empresas que precalificaron para tres o más lotes.

⁴A través de ese proceso el gobierno hace una preselección, para cada lote, de un máximo de diez empresas o consorcios elegibles para presentar ofertas.

Tabla 4.7: Precalificados en más de tres lotes en la segunda ola 4G Colombia.

Nombre empresa / principales miembros del consorcio	Nº de Precalificaciones
Estructura Plural (EP) infraestructura vial para Colombia	4
Concesionaria vías del desarrollo 3	3
EP OHL Concesiones	5
Grupo Odinsa y otros	4
EP Shikun y Binui - Grodco	3
Infraestructura concesionada - Infracon	3
Concesiones 4G Eurolat	5
Construtora Andrade Gutierrez y otros	3
Sacyr y otros	5

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

Es posible encontrar muchos otros ejemplos de procesos en los que se hubieran podido licitar múltiples lotes APP de infraestructura al mismo tiempo. Algunos ejemplos son: la licitación de 49 carreteras bajo contrato APP por parte de la Autoridad Nacional de Carreteras de India (NHAI) entre los años 2016 y 2018; la licitación de seis autopistas por Infraestructura de Transporte en Irlanda entre 2006 y 2007; la licitación de tres autopistas en Italia en 2007; la licitación de cuatro hospitales por el Instituto Mexicano del Seguro Social en 2018; la licitación de siete autopistas por el gobierno de Portugal entre 2008 y 2009; y muchos otros en diferentes países.

En el caso real de la segunda ola de las autopistas 4G de Colombia, como más adelante se explicará en detalle, se dieron las características descritas en este apartado, que hacen que tenga mucho sentido plantear la posibilidad de que se hubiese realizado una subasta combinatoria para adjudicar simultáneamente los nueve lotes. A lo largo de este trabajo se compararán los resultados teóricos obtenidos con una subasta combinatoria, con los de la sucesión de subastas independientes de un lote realmente realizadas. En la página web de la ANI existe abundante información pública en detalle de todas las subastas realizadas [2].

En el Capítulo 5 se explica la historia del sistema concesional en Colombia, y en particular, el proceso de licitación de la segunda ola 4G.

Capítulo 5

El sistema concesional en Colombia

Las concesiones de infraestructura en Colombia tuvieron su inicio una vez promulgada la constitución de 1991, que dio vía libre a este tipo de contrataciones. Se adoptaron como un mecanismo alternativo de financiación, en el marco de las APPs. Estas asociaciones surgieron con el propósito de complementar la actividad del estado y reducir así el progresivo déficit que el desarrollo de la infraestructura vial presentaba en el país.

Dentro del marco de las APPs, existen dos modelos de concesión en Colombia: los de iniciativa pública y los de iniciativa privada.

En los de iniciativa pública el estado se ocupa de la estructuración y de parte de la financiación, bien sea a través del Presupuesto General de la Nación o de las denominadas Vigencias Futuras (pagos futuros del estado al concesionario durante la vida del contrato), mientras que el sector privado se encarga de la construcción y el resto de la financiación.

En los de iniciativa privada, que son proyectos propuestos por las empresas privadas a la administración, es el sector privado el que se encarga tanto la estructuración como de la construcción, estando limitadas las ayudas públicas en la financiación hasta un máximo del 20 %, según la Ley que regula las APPs, Ley 1508 de 2012.

En la Tabla 5.1 se puede ver como se reparte entre los organismos públicos y las empresas privadas la responsabilidad sobre las diferentes etapas en la ejecución de la infraestructura pública, según los diferentes tipos de contratos.

Tabla 5.1: Reparto de responsabilidades en contratos de infraestructura de transporte en Colombia.

Tipo de Esquema	Estructuración	Construcción	Financiamiento
Obra pública	Público	Público	Público
APP (Iniciativa Privada)	Privado	Privado	Público (max 20 %)/Privado
APP (Iniciativa Pública)	Público	Privado	Público/Privado

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [3].

Este trabajo se centra en las concesiones de 4G, que se enmarcan bajo el esquema de APP de iniciativa pública.

Los procesos de concesión en Colombia atravesaron tres etapas o generaciones desde la primera adjudicación en 1994 hasta 2007. En el año 2012 se inició una cuarta generación de estos proyectos, y durante el año 2020 arrancó la licitación del primer lote de la quinta generación, de la que, a la fecha de presentación de este trabajo, se han adjudicado tres contratos.

Este capítulo está estructurado en los siguientes apartados, en los que se presentan las características más destacadas de las 4 primeras generaciones de concesiones.

- En el *Apartado 5.1* se explican las tres primeras generaciones.
- En el *Apartado 5.2* se precisan las características de la cuarta generación, compuesta a su vez por tres grupos de lotes, denominados olas.
- En el *Apartado 5.3* se exponen los detalles de la segunda ola de la cuarta generación, analizando cómo son los lotes que la componen, y prestando especial atención a su carácter de lotes sustitutivos o complementarios.
- Por último, en el *Apartado 5.4* se realizan una serie de reflexiones generales y se presentan las principales características de los modelos de adjudicación y asignación construidos en este trabajo.

5.1. Sistema concesional en Colombia: las primeras tres generaciones

■ Primera generación: 1994-1997

La primera generación comprendió 13 lotes, aprobados y ejecutados entre los años 1994 y 1997. En ella se incluyó la construcción de 230 km de carreteras nuevas y el mantenimiento de 1527 km de vías ya existentes. La inversión inicial acordada fue de 869 *MUSD* (ver Tabla 5.2).

Durante esta primera etapa, la inexperiencia de la administración para la estructuración de este tipo de contratación conllevó un importante incremento de los gastos, fruto de las características de las garantías que fueron otorgadas por el estado. Los principales problemas se derivaron de la carencia de estudios, diseños de ingeniería y de análisis de demanda rigurosos. Tampoco se contó con las licencias ambientales pertinentes ni con los acuerdos necesarios con las comunidades étnicas afectadas. Así mismo, cabe señalar la falta de evaluación financiera de las empresas privadas y de mecanismos para la solución de disputas entre el estado y las empresas. Esto derivó en que, en esta primera generación de concesiones viales, el gobierno nacional desembolsó más de 700 *MUSD* adicionales, por concepto del pago de garantías de ingreso mínimo, sobrecostos de construcción y pagos derivados de sentencias judiciales.

La primera generación de concesiones representó, por lo tanto, un serio problema presupuestario para el gobierno de Colombia que terminó gastando más dinero del necesario en obligaciones contractuales con las empresas privadas para culminar las obras.

■ Segunda generación: 1999-2001

La segunda generación comprende sólo 2 lotes ejecutados entre 1999 y 2001, en los cuales se hizo una inversión inicial de 675 *MUSD*, para intervenir 1041 km de carreteras (ver Tabla 5.3).

Tabla 5.2: Concesiones viales de primera generación en Colombia.

Lote	Denominación	Adjudicación	Inversión (MUSD)
1.	Santa Marta - Richacha - Paraguachon	Agosto 1994	39
2.	Malla vial del Meta	Agosto 1994	45
3.	Los Patios - La Calera	Agosto 1994	9
4.	Bogotá Villavicencio	Agosto 1994	106
5.	Bogotá - El Vino	Agosto 1994	45
6.	Cartagena - Barranquilla	Agosto 1994	15
7.	Desarrollo Vial del Norte de Bogotá	Noviembre 1994	94
8.	Fontibón - Los Alpes	Junio 1995	41
9.	Girardot - Neiva	Julio 1995	43
10.	Desarrollo Vial Oriente de Medellín	Mayo 1996	110
11.	Amenia - Manizales	Abril 1997	197
12.	Barranquilla - Ciénaga	Junio 1997	31
13.	Valle del Cauca	Noviembre 1993	96

Fuente: elaboración propia basada en Cardenas, Gaviria y Meléndez [8].

Tabla 5.3: Concesiones viales de segunda generación en Colombia.

Lote	Denominación	Adjudicación	Inversión (MUSD)
1.	El Vino - San Alberto	Diciembre 1997	379
2.	Malla vial del Cauca y Cauca	Enero 1999	295

Fuente: elaboración propia basada en Cardenas, Gaviria y Meléndez [8].

En esta segunda generación, se trató de solucionar los problemas de la fase anterior con modificaciones en el sistema de contratación. Para ello, se introdujo el plazo variable para la duración del contrato de concesión, en vez de un plazo fijo. En virtud de este mecanismo de plazo variable, la concesión se revierte al estado una vez el concesionario ha obtenido una cantidad determinada de ingresos, que se define en la adjudicación y no al finalizar un plazo determinado. De esta forma, si el tráfico real, y los ingresos correspondientes al mismo, son inferiores a los previstos, el concesionario tendrá derecho a mantener durante un número mayor de años la concesión, de forma que se compense la caída de ingresos. De forma contraria sucede si el tráfico es mayor, reduciéndose el plazo de la concesión. Con este mecanismo, se reduce el riesgo comercial para el concesionario.

En los nuevos contratos se estableció que era responsabilidad de los contratistas la consecución de licencias ambientales y de la información necesaria para la expropiación de terrenos, antes de iniciar la construcción. También se modificaron los criterios de

adjudicación, ponderando, tanto las aportaciones públicas, como las garantías sobre los costes de construcción, sobre el riesgo de tráfico y sobre riesgo de tipo de cambio.

Sin embargo, los problemas a la hora de seleccionar las empresas adjudicatarias en el proceso de licitación continuaron. Las empresas ganadoras propusieron cambios en los trazados y diseños, que generaron múltiples disputas con el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), que terminaron con la caducidad de los contratos. Los problemas de esta etapa responden a una posición desequilibrada entre el estado y el concesionario, que en la práctica podía realizar el proyecto de acuerdo con sus propios diseños e intereses, distintos a los definidos en los pliegos de condiciones.

Aunque hubo mejoras en la coordinación institucional, también hubo resistencia del sector financiero a apoyar las nuevas concesiones, en parte debido a los problemas ocurridos en los lotes de la primera generación, a lo que se sumó el deterioro de la situación económica a partir de 1997 y la crisis del sector financiero.

■ Tercera generación: 2002-2007

La tercera generación comprende los lotes adjudicados entre los años 2002 y 2007. Esta etapa del programa de concesiones viales consistió en diez lotes, con una extensión aproximada de 1.772 km y una inversión de 930 *MUSD* (ver Tabla 5.4).

Tabla 5.4: Concesiones viales de tercera generación en Colombia.

Lote	Denominación	Adjudicación	Inversión (<i>MUSD</i>)
1.	Zipaquirá - Palenque	Diciembre 2001	15
2.	Briceño - Somagoso	Julio 2002	128
3.	Bogotá - Girardot	Julio 2004	197
4.	Pereira - La Victoria	Agosto 2004	42
5.	Rumichaca - Chachagui	Noviembre 2006	116
6.	Área metropolitana de Bucaramanga	Diciembre 2006	46
7.	Córdoba - Sucre	Febrero 2007	86
8.	Área Metropolitana de Cúcuta	Junio 2007	66
9.	Girardot - Ibagué	Julio 2007	139
10.	Ruta del Caribe	Mayo 2007	98

Fuente: elaboración propia basada en Cardenas, Gaviria y Meléndez [8].

En las concesiones de la tercera generación se incluye el concepto de corredor vial, que hace mención a la creación de una serie de vías que permitan la comunicación entre los

centros de producción, consumo, distribución y comercialización, lo que contribuye a mejorar la productividad y competitividad de las redes viales nacionales y los índices de exportación del país.

Mientras las dos primeras generaciones de concesiones viales centraron su atención en la construcción y rehabilitación de las vías, en la tercera generación, se incidió especialmente en el mantenimiento integral y uniforme de la carretera: la continuidad en el tráfico de vehículos, la implantación de criterios homogéneos en el cobro de peajes y el establecimiento de un nivel óptimo de servicio y seguridad vial del corredor, buscando la actualización y modernización de la red según estándares internacionales.

Aunque, igual que en la segunda generación, se intentaron solucionar los problemas del modelo de contratación detectados en la primera generación de concesiones, alcanzando varios avances en ese sentido (ampliando la regulación de la relación contractual, la definición y asignación técnica de riesgos y garantías y mejorando la estimación de tráfico), las múltiples reclamaciones y las constantes modificaciones en los contratos persistieron también en esta etapa. Asimismo, evidenciaron otra serie de deficiencias como la aplicación inconsistente de las políticas formuladas, la reducción de los km de carretera a construir por motivos estrictamente financieros, y la incertidumbre en los efectos perniciosos de discontinuidad de los corredores sobre el transporte de carga de larga distancia.

5.2. Cuarta generación: programa 4G colombiano

Como se mencionó anteriormente, esta investigación se centra en la cuarta generación (4G) cuya fase de licitación tuvo lugar entre 2013 y 2015. Es la más cercana en el tiempo (la quinta generación está aún en desarrollo), y de ella hay una gran cantidad de información de acceso libre disponible.

5.2.1. Estructura general

El objetivo principal de este programa 4G es construir nuevas autopistas para conectar las principales ciudades, centros de producción, puertos y fronteras entre sí, reduciendo los costes y el tiempo de transporte. Este programa propuso construir más de 8000 km de carreteras, incluyendo 1573 km de autovías, 159 túneles y 1335 viaductos, entre otras infraestructuras. La Figura 5.1 muestra en color rojo las nuevas autopistas que se realizarán durante el programa 4G en comparación con los proyectos existentes anteriormente.

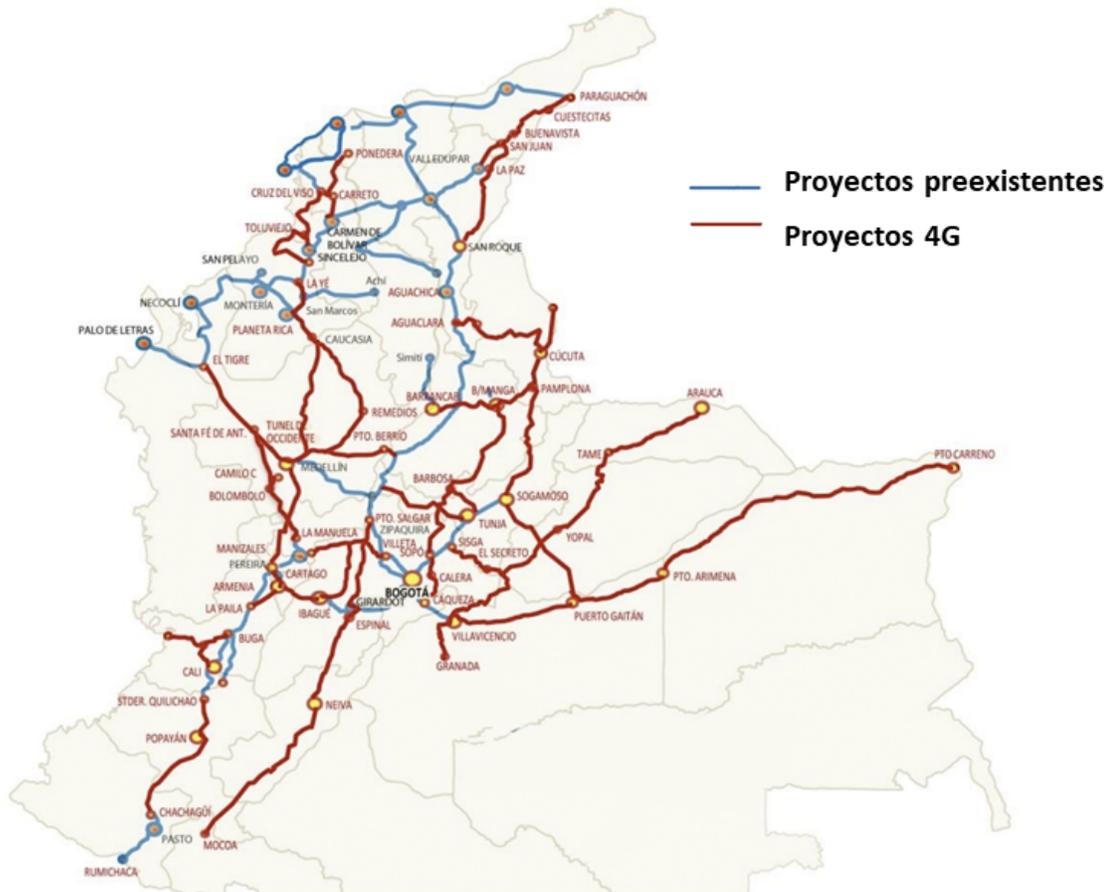


Figura 5.1: Vías preexistentes y proyectos de la 4G de concesiones en Colombia.
Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [3].

Estos proyectos se han dividido en 3 grupos, que se han denominado olas. Cada una de estas olas fue licitada mediante una serie subastas independientes de un lote de ofertas a

sobre cerrado (como se ha descrito en el Capítulo 4), en las que cada uno de los lotes se adjudicó al participante que solicitó un menor importe por ejecutarlo¹.

- La **primera ola** comprende 9 corredores viales con 1628 km, y una inversión próxima a los 3,7 billones de USD. En la Tabla 5.5 puede observarse un resumen de los lotes incluidos.

Tabla 5.5: Lotes de la primera ola 4G.

Lote	Denominación	Adjudicación (2015)
1.1.	Honda - Puerto Salgar - Girardot	11 de Abril
1.2.	Autopista Conexión Pacífico 1	15 de Abril
1.3.	Autopista Conexión Pacífico 2	24 de Abril
1.4.	Autopista Conexión Pacífico 3	27 de Mayo
1.5.	Cartagena - Barranquilla	28 de Mayo
1.6.	Perimetral Oriente de Cundinamarca	30 de Mayo
1.7.	Autopista Conexión Norte	11 de Septiembre
1.8.	Autopista al Río Magdalena 2	16 de Septiembre
1.9.	Mulalo Loboguerrero	31 de Octubre

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [3].

- La **segunda ola** comprende otros 9 lotes, y se trata en detalle en el Apartado 5.3.
- La **tercera ola** incluía inicialmente 8 lotes, aunque debido a la crisis económica causada por la caída de los precios del petróleo, finalmente sólo se desarrollaron dos de los proyectos: los tramos Bucaramanga Pamplona y Pamplona Cúcuta².

Cada uno de los lotes consiste en el desarrollo de diferentes secciones de carreteras en Colombia, lo que incluye: redacción del proyecto técnico; obtención de licencias; financiación de la inversión a realizar; ejecución de las obras; y la operación y mantenimiento de las

¹Para calcular la puntuación final que determina el participante ganador, las reglas de la subasta definen una suma de criterios técnicos y económicos. En el proceso real, la práctica totalidad de los participantes cumplieron con los criterios técnicos, por lo que éstos tuvieron poca relevancia en las adjudicaciones. Por esta razón, sólo se considerarán los criterios económicos en el modelo realizado.

²Con posterioridad, el gobierno colombiano, ha comenzado a trabajar en la estructuración de lotes de la denominada Quinta Generación (5G), con los cuales busca incentivar la generación de empleo, impulsar la economía regional y, principalmente, conectar más y mejor a los colombianos. El programa comprende un paquete de 24 procesos de estructuración, los cuales están divididos en dos olas. Las inversiones, tanto de la primera ola como de la segunda, se estiman en aproximadamente 6 billones de USD.

carreteras cumpliendo el nivel de servicio requerido, durante un cierto período de tiempo (plazos de entre 15 y 25 años).

Las carreteras a construir se repartieron y dividieron entre diferentes contratos, de modo que cada uno de ellos tuviese un adecuado equilibrio económico financiero entre los costes a incurrir y los ingresos a percibir por los concesionarios.

Varios de los proyectos están conectados entre sí, incluso formando tramos adyacentes del mismo eje vial, o encontrándose en ubicaciones muy próximas los unos de los otros. Por lo tanto, aunque fueron licitados de forma independiente, los participantes tendrían valores complementarios (sinergias), si los ejecutasen conjuntamente.

5.2.2. Financiación de los proyectos

En esta sección se trata la financiación de los proyectos 4G, aspecto clave y diferencial en los contratos APP.

La compañía ganadora de cada lote debe financiar la construcción de la infraestructura con sus propios recursos, y no percibe ninguna remuneración hasta que culminen todos los tramos (denominados Unidades Funcionales) en las que se divide el lote. Como se ha comentado previamente, esta estructura es típica de contratos tipo *greenfield*, y busca, además de optimizar las necesidades de endeudamiento de las administraciones públicas, alinear intereses, para que el concesionario privado esté interesado en construir las obras en el plazo acordado, o incluso anticipadamente, para tener el derecho a percibir cuanto antes su retribución.

El concesionario tendrá por tanto la obligación de gestionar y obtener la financiación externa (acudiendo a entidades financieras, fondos de inversión, organismos multilaterales, etc.), y los capitales propios necesarios para ejecutar la totalidad de sus obligaciones bajo el contrato APP.

Clavijo et al. [12], en un estudio de la Asociación Nacional de Instituciones Financieras de Colombia (ANIF), estimaron que un 20 % de la financiación necesaria para las 4G provendría de capital propio aportado por los concesionarios privados, y el resto de las diversas fuentes de financiación externa, previendo que para el global de los proyectos, un 30 % se obtendría de bancos locales, un 26 % de bancos internacionales y el 14 % restante de fondos de capital privado.

En la documentación del proceso de licitación, la administración estableció el capital que el concesionario ganador tendría que aportar, como mínimo, a cada una de las SPVs que se constituyeran para desarrollar los proyectos. La razón de predeterminedar este capital mínimo es el de asegurar, por un lado, que el proyecto será financiable, al tener una estructura de capital suficiente para las entidades financiadoras y, por otro lado, el compromiso de los adjudicatarios para cumplir con sus obligaciones contractuales y culminar los proyectos, al arriesgarse a perder el capital aportado, en caso de fracaso del contrato.

5.3. Segunda ola del programa 4G en Colombia

La segunda ola del programa 4G, con la que se contrastan los resultados de esta investigación, tiene una inversión total de 3,6 billones de USD, y se compone de 9 lotes de autopistas, con una longitud total aproximada de 1800 km. El gobierno colombiano llevó a cabo la adjudicación de los lotes a través de 9 subastas independientes de un lote, sin que, por tanto, los participantes pudieran valorar las relaciones entre los lotes ofrecidos. Para este trabajo, se ha establecido la denominación de los 9 lotes en función del orden en que fueron adjudicados, indicando que pertenecen todos a la segunda ola. Se pueden ver sus principales características técnicas en la Tabla 5.6.

En esta segunda ola de 4G concurren las siguientes características:

- Algunos de los lotes están situados cercanos entre sí, incluso siendo tramos contiguos

Tabla 5.6: Lotes de la segunda ola 4G.

Lote	Denominación	Recorrido	Obras a ejecutar
2.1.	Puerta de Hierro - Cruz del Viso	Puerta de Hierro (Sucre), Carreto (Magdalena) - Palmar de Varela (Atlántico); Carreto - Cruz del Vizo (Bolívar)	Mejoramiento de 175 km de carreteras existentes
2.2.	Transversal del Sisga	Sisga - Guateque - El Secreto. Conecta Cundinamarca con Casanare	137 km de pavimentación y mantenimiento de carreteras existentes
2.3.	Villavicencio - Yopal	Villavicencio - Conexión Anillo Vial - Cumaral - Patebueno - Villanueva - Monterrey - Tauramena - Aguazul - Yopal	48 km de nueva autopista y mejoramiento y rehabilitación de 21 km de carreteras existentes
2.4.	Santana - Mocoa - Neiva	Neiva - Campoalegre - Gigante - Garzón - San Juan de Villalobos - Mocoa - Santana	22 km de nueva autopista, más de 32 km de nueva carretera sencilla y rehabilitación de 422 km
2.5.	Popayan - Santander de Quilichao	Santander de Quilichao - Popayán	76 km de nueva autopista
2.6.	Mar 1	Túnel de Occidente - San Jerónimo - Santafé de Antioquia - Bolombolo	110 km de nueva autopista
2.7.	Bucaramanga - Barrancabermeja - Yondó	Barrancabermeja - Bucaramanga - Yondó	6 km de nueva autopista, 128 km de nueva carretera sencilla y mejoramiento y rehabilitación de 67 km de carretera existente
2.8.	Rumichaca - Pasto	Rumichaca - Tangua - Pasto	80 km de nueva autopista
2.9.	Mar 2	Cañas Gordas - Uramita - Mutata - El Tigre	17 km de nueva carretera sencilla, mejoramiento y rehabilitación de 118 km

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [3].

de una misma carretera, de forma que se pueden generar **sinergias entre ellos**.

- Las subastas se celebraron en un **corto periodo de tiempo**, entre abril y agosto de 2015.
- Las tareas a ejecutar por los ganadores de todos los lotes eran las mismas: **el diseño, la financiación, la construcción, la operación, y el mantenimiento** de carreteras similares a lo largo de todo el país.
- Todos los lotes se subastaron bajo las **mismas reglas**: legislación, criterios para la adjudicación, exigencias técnicas y administrativas, y reparto de los riesgos entre la

5.3. Segunda ola del programa 4G en Colombia

administración y el concesionario privado.

- Un número elevado de participantes **presentaron sus ofertas en más de una de las subastas**, como se ha indicado previamente en la Tabla 4.7.

Se aprecia que todas las características descritas en el Apartado 4.2, que justifican la utilización de subastas combinatorias, se cumplen. La Figura 5.2 muestra la ubicación geográfica de los lotes incluidos, según la denominación de los lotes indicada en la Tabla 5.6, señalando los lotes conexos entre sí.



Figura 5.2: Localización geográfica de los lotes de la segunda ola de la 4G.

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [3].

Dadas las características del proceso, los lotes ofrecidos en esta ola pueden ser tanto

sustitutivos como complementarios:

- **Sustitutivos**, cuando los participantes tienen valores marginales decrecientes, siendo el valor de ganar un conjunto de lotes menor que la suma de los valores individuales de los lotes incluidos en el conjunto. Esta situación puede ocurrir cuando los participantes establecen un límite en el número máximo de lotes que desean ganar, ya sea porque tienen una capacidad de inversión limitada, o por evitar una excesiva concentración de riesgos [33].

En el modelo desarrollado se ha establecido la capacidad óptima de cada una de las categorías de licitadores, con valores que van entre un mínimo de 1 lote y un máximo de 3 lotes. Este límite está alineado con las capacidades reales de los participantes observadas. Efectivamente, en el proceso real, ningún concursante ganó más de 3 lotes, lo que refuerza la hipótesis adoptada. Es importante resaltar que estos lotes necesitan grandes inversiones, y la capacidad de inversión es limitada en el sector de infraestructuras. Una vez alcanzada su capacidad óptima, al resultar ganadores de un número de lotes igual a ésta, los participantes reducirán su interés por los lotes que se liciten sucesivamente.

- **Complementarios**, cuando los participantes tienen valores marginales crecientes, ya que el valor de ganar un conjunto de lotes es mayor que la suma de los valores individuales de los lotes incluidos en el conjunto.

Efectivamente los participantes pueden estar interesados en ganar más de un lote, para obtener un importe de ingresos con los que poder amortizar las inversiones que hayan realizado para poder presentar su oferta. Estas inversiones son las necesarias para sufragar todos los costes, tanto internos (personal, instalaciones, etc.), como externos (asesores, ingenierías, etc.) en que deben de incurrir para realizar, entre otros, el estudio del mercado, el análisis de las singularidades del país, de la legislación local, de las reglas definidas para el desarrollo de las de subastas, del sistema impositivo, el sistema financiero, etc. [57].

También puede existir un efecto adicional de complementariedad, entre lotes que están

conectados o geográficamente muy cerca el uno del otro, generando economías de escala (ahorro en costes de implantación en la zona, de estructura, ahorro por el uso compartido de medios e instalaciones, etc.) [19]. De los lotes incluidos en el modelo, el lote 2.2 y el 2.3 son secciones contiguas de la misma autopista. Igual sucede con el lote 2.6 y el 2.9 (ver Figura 5.2). Por lo tanto, ambas parejas de lotes serán complementarias para todos los participantes en el modelo desarrollado.

Las valoraciones de lotes sustitutivos y complementarios sólo pueden reflejarse en subastas combinatorias, ya que en ellas los licitadores presentan ofertas para paquetes de lotes. En las subastas independientes de un lote, los lotes se licitan y adjudican individualmente, por lo que estas preferencias no se pueden incorporar a las estrategias de oferta.

El participante ganador de cada lote tendrá derecho a percibir durante el plazo de operación de la carretera ingresos derivados principalmente de:

- **Cobro de los peajes**, pagados por los usuarios de las carreteras en las estaciones de peaje.
- **Cobro de unos importes fijos**, recibidos con carácter semestral durante un número de años, que la ANI denominó Vigencias Futuras. Éstas son las cantidades establecidas por la ANI como el importe máximo que estaba dispuesta a pagar por desarrollar la infraestructura. Estos importes constituyeron la variable económica sobre la que los participantes realizaron sus ofertas, ofreciendo descuentos sobre ellas. Estos descuentos determinaron la adjudicación de los lotes a unos u otros participantes. A las cantidades establecidas por la ANI se les denomina en este trabajo *Valor Base ANI* (VB^{ANI}).

La Tabla 5.7 presenta el VB^{ANI} de cada lote. Para determinar estos importes, la ANI realizó un exhaustivo proceso con la ayuda de asesores especializados, que se denomina proceso de estructuración. Durante la fase de estructuración, se estudiaron factores clave de cada proyecto, como son: el coste de la infraestructura que se construirá, el cronograma

de construcción, la estimación de posibles ingresos por tráfico y las posibles estructuras de financiación. El objetivo de la estructuración es el de asegurarse que los lotes que se licitan son viables económicamente, de forma que las subastas sean exitosas.

En las subastas reales, cada participante presentó su oferta, indicando la rebaja respecto del VB^{ANI} que decidió ofertar, tras realizar su propio estudio económico de los lotes. Las últimas dos columnas de la Tabla 5.7 muestran el descuento final y la oferta realizada por el participante ganador de cada lote de la segunda ola 4G. El VB^{ANI} y las ofertas ganadoras se presentan en $MUSD^3$.

Tabla 5.7: Resultado real de las subastas en la segunda ola 4G.

Lote	Denominación	Adjudicación (2015)	VB^{ANI} ($MUSD$)	Descuento ganador	Oferta ganadora ($MUSD$)
2.1.	Puerta de Hierro - Cruz del Viso	10 de Abril	102	18,98 %	83
2.2.	Transversal del Sisga	17 de Abril	162	23,61 %	124
2.3.	Villavicencio-Yopal	24 de Abril	388	17,40 %	321
2.4.	Santana - Mocoa - Neiva	30 de Abril	298	1,97 %	293
2.5.	Popayan - Santander de Quilichao	8 de Mayo	320	13,10 %	278
2.6.	Mar 1	22 de Mayo	441	18,00 %	361
2.7.	Bucaramanga - Yondo	29 de Mayo	314	21,99 %	245
2.8.	Rumichaca - Pasto	19 de Junio	455	20,64 %	361
2.9.	Mar 2	8 de Agosto	466	15,67 %	393
Total			2.947		2.459

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [3].

5.4. Reflexiones generales

En este trabajo se han desarrollado dos modelos, uno de valoración, y otro de asignación, que simulan el resultado del proceso de licitación pública de los lotes relacionados tipo APP antes descritos: los 9 lotes de la segunda ola del programa 4G. La simulación para obtener los resultados de adjudicación se realiza aplicando dos tipos de subastas:

- **Subasta independiente de un lote**, donde cada lote se licita de forma individual,

³Todos los cálculos de este trabajo se han realizado considerando el mismo tipo de cambio dólar frente a peso colombiano: 0,0003 USD/COP .

por lo que en cada momento los participantes sólo podrán realizar sus ofertas teniendo en consideración el valor del lote en particular que se esté subastando en ese momento.

- **Subasta combinatoria**, donde se ofrecen los 9 lotes al mismo tiempo, y se permite que cada participante realice su oferta, tanto por lotes individuales, como por paquetes formados por combinaciones de éstos. Los participantes podrán por tanto considerar, para definir sus estrategias de puja, las posibles sinergias entre lotes.

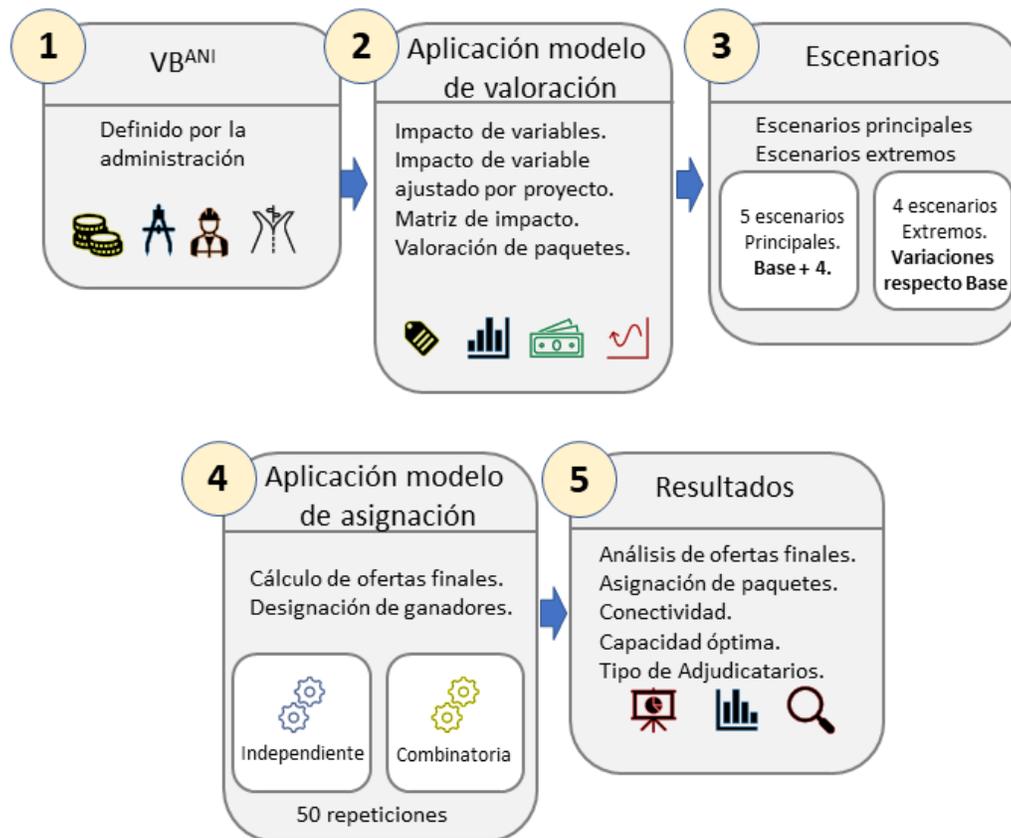


Figura 5.3: Etapas de la metodología implementada.
Fuente: elaboración propia.

Como primer paso, partiendo de los VB^{ANI} , el modelo de valoración determina el valor que, para cada participante, tiene cada lote y paquete. A partir de estos valores, el modelo de asignación establece las ofertas finales para cada lote y paquete. Por último se resuelve el WDP, de forma que se asignen todos los lotes entre los participantes, de forma que se minimice el precio total a pagar por la administración.

Con el objetivo de realizar análisis de sensibilidad, se han generado varios escenarios, en los que se modifican los valores de las variables que determinan los descuentos aplicados por los participantes. Esto proporciona robustez al análisis, evitando posibles sesgos provenientes de un único escenario. La Figura 5.3 muestra las fases de la metodología seguida.

A continuación, en el Capítulo 6 se describen las principales características de los lotes y participantes en las subastas que son objeto de este trabajo.

Capítulo 6

Caracterización de participantes y lotes

Como se ha indicado, el objetivo de los modelos de valoración y asignación es la simulación de subastas en las que se ofrecen los lotes incluidos en la segunda ola de las 4G.

En los modelos realizados existen dos elementos fundamentales:

- **Los participantes en las subastas.** Son las empresas o consorcios de empresas que estudian los proyectos, y en base a ello realizan sus ofertas. Se han clasificado en diferentes categorías en función de sus características particulares.
- **Los proyectos que se ofrecen en las subastas,** que se denominan lotes cuando se hace referencia a cada uno de ellos individualmente, y paquetes cuando se hace referencia a un conjunto de lotes.

Las singularidades y elementos en común de los diferentes participantes, lotes y paquetes, así como la interacción entre ellas, son la base sobre la que se construyen los modelos de valoración y de asignación.

Dado que el primer objetivo es calcular la valoración que cada paquete tiene para cada categoría de participante, el paso inicial ha sido investigar las principales características de cada uno de estos elementos clave, y detectar cuales son aquéllas que afectan en mayor medida sobre la valoración. En particular, se ha puesto especial atención en aquéllas características que hacen que una determinada tipología de participantes valore a un mismo paquete de forma diferente que otra categoría.

El capítulo está dividido en tres apartados.

- En el Apartado *6.1* se describen las diferentes categorías de participantes, indicando los criterios utilizados para encuadrarlos en cada una de ellas.
- En el Apartado *6.2* se explican las principales características de los lotes y paquetes.
- Por último, en el Apartado *6.3* se detalla cómo estas características y categorías interactúan, y se introducen los modelos de valoración y asignación que se explicarán en detalle en el Capítulo 7.

6.1. Categorías de participantes

En las licitaciones de las tres olas de las autopistas 4G de Colombia participaron un total de 45 empresas y consorcios, la mayoría de ellos estaban conformados por varias empresas que se unieron para realizar su oferta. Dada la importancia de los procesos, se despertó un enorme interés en empresas de geografías muy diversas. Se presentaron empresas de Colombia, España, Ecuador, Perú, Francia, Costa Rica, México, China, Brasil, Israel, Italia e India. En lo que respecta a la tipología de empresas, participaron desde empresas constructoras puras hasta fondos de inversión de carácter marcadamente financiero.

Cada participante tiene unas circunstancias particulares, que lo hacen diferente de todos los demás. Sin embargo, también se pueden encontrar en ellos determinadas características

que permiten clasificarlos en grupos homogéneos, a efectos de poder determinar la valoración que realizarán de un determinado lote o paquete.

Estas características diferenciadoras, estarán ligadas a la forma en que se enfrentan a los principales riesgos que deben de gestionar para poder ejecutar las obligaciones que adquieren al ganar un lote. En la Tabla 6.1 se puede ver la matriz de distribución de riesgos entre empresa concesionaria y administración para los proyectos APP pertenecientes al programa de concesiones 4G de Colombia.

Tabla 6.1: Matriz de distribución de riesgos de los proyectos 4G.

Propietario del riesgo	Riesgo
Concesionario	Construcción (excepto túneles) Operación y mantenimiento Financiación Variación precios construcción y operación y mantenimiento Gestión expropiaciones Fuerza mayor asegurable Tráfico (liquidez) Macroeconómicos Cambio de ley (salvo por la asumida expresamente por ANI)
ANI	Fuerza mayor no asegurable Cambio de ley en los temas predefinidos Tráfico
Compartidos	Construcción (túneles) Coste expropiaciones Gestión ambiental y social Redes de servicios públicos

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [3].

Un artículo del año 2020, diferencia los riesgos de un proyecto realizado en régimen de APP entre riesgos exógenos y riesgos endógenos [66].

- **Los riesgos exógenos**, dependen de factores externos, de forma que los participantes tendrán escasa o nula capacidad para influir en ellos. Ejemplos de estos riesgos son: el riesgo de tráfico (número de vehículos que pasan por la carretera); el riesgo derivado de cambios en la legislación; y los riesgos macroeconómicos.
- **Los riesgos endógenos**, son los inherentes a la construcción y operación de los proyectos. Los participantes, en función de su experiencia y habilidades, sí tendrán

capacidad de influir sobre ellos. Los dos principales son el riesgo de construcción, y el de la disponibilidad y el coste de la financiación externa. Estos riesgos endógenos son determinantes para definir las características que hacen encuadrar a un participante en una determinada categoría, en función de su capacidad para afrontarlos. El valor que tenga cada lote para cada participante dependerá principalmente de cómo esté capacitado para gestionar los riesgos endógenos de ese proyecto.

Para establecer las diferentes categorías de participantes del modelo, se ha tomado como referencia aquéllos que realmente participaron en el programa 4G. Para realizar la clasificación, se han tenido en cuenta las características que mayor incidencia tienen en la valoración que realizan de los diferentes lotes o paquetes¹.

Estas características principales son: nacionalidad; tamaño; y tipo de actividad.

■ Nacionalidad

- *Colombiana*. Empresas locales. Tienen alto conocimiento del país, y por lo tanto de la legislación local y de los costes de ejecución de los trabajos de construcción y operación de las infraestructuras. Por su naturaleza, disponen de fuerte estructura local en Colombia, por lo que no necesitan hacer ninguna inversión adicional para su implantación en el país.
- *Asiática*. Su auge ha sido muy alto en los últimos años, vinculado, principalmente, a la apertura y el crecimiento de la economía China. Destacan por tener un elevado grado de agresividad en los costes de construcción. Esto es debido, para el caso de China, a la existencia de enormes empresas de capital público que, con un elevado nivel de crédito corporativo, tienen mucha facilidad para obtener financiación, y consecuentemente una mayor tolerancia al riesgo que las empresas privadas [9]. Por tanto, es más probable que inviertan en iniciativas de APP a gran escala.

¹Cuando los participantes están formados por un consorcio compuesto por varias compañías individuales, las categorías se han definido en función de las características de la compañía individual o del conjunto de ellas, que tienen la mayoría del accionariado del consorcio (más de 50%).

- *Resto del mundo.* Por regla general, las empresas de carácter multinacional que acuden a ofertar a Colombia son compañías con elevada experiencia en el sector de las APPs, acostumbradas a trabajar fuera de su territorio nacional, y a negociar con entidades financieras internacionales.

■ **Tamaño**

- *Empresa pequeña.*
- *Empresa mediana.*
- *Empresa grande.*
- *Empresa muy grande.*

Esta clasificación se ha realizado en base de las siguientes variables: ingresos, número de empleados, y carácter local o internacional de la compañía. El tamaño está directamente relacionado con la capacidad de la empresa de invertir capital, y de ejecutar varias obras simultáneamente.

Respecto de las empresas locales colombianas, se han diferenciado en función de sus ingresos anuales, teniendo en cuenta los del grupo empresarial completo. Dado que tienen su negocio centrado exclusivamente en Colombia, se han establecido unos límites reducidos en comparación con los de las internacionales, que se recogen en la tabla 6.2.

Tabla 6.2: Tipos de empresas en base a sus ingresos anuales .

Ingresos Anuales (<i>ing</i>)	Categoría empresa
$ing < 50 \text{ MUSD}$	Pequeña
$50 \text{ MUSD} \leq ing < 100 \text{ MUSD}$	Mediana
$100 \text{ MUSD} \leq ing < 200 \text{ MUSD}$	Grande
$ing \geq 200 \text{ MUSD}$	Muy grande

Respecto de las empresas Chinas, que en su mayor parte son de propiedad estatal, han sido consideradas siempre como muy grandes.

Las empresas constructoras y concesionarias internacionales se han clasificado también en función de sus ingresos anuales, tal y como se recoge en la tabla 6.3.

Tabla 6.3: Tipos de empresas constructoras y concesionarias internacionales en base a sus ingresos anuales .

Ingresos Anuales (<i>ing</i>)	Categoría constructora/concesionaria
$ing < 500 \text{ MUSD}$	Pequeña
$500 \text{ MUSD} \leq ing < 1500 \text{ MUSD}$	Mediana
$1500 \text{ MUSD} \leq ing < 3500 \text{ MUSD}$	Grande
$ing \geq 3500 \text{ MUSD}$	Muy grande

Los fondos de inversión internacionales han sido considerados también como muy grandes, al tener gran capacidad de obtener y aportar capital y garantías.

Adicionalmente, para realizar esta clasificación, también se ha considerado el amplio conocimiento del sector que tiene el autor de este trabajo, para considerar asuntos menos objetivos, como la especialización de cada empresa en el sector APP.

■ Tipo de actividad

- *Constructor*: Son aquellos participantes cuya actividad principal consiste en la construcción de infraestructuras. Normalmente ejecutan las obras directamente y, por tanto, cuando son ganadores de un contrato APP obtendrán directamente el beneficio de la actividad constructora, adicionalmente al beneficio propio del negocio concesional. En línea con este argumento, Ping [52] explica el concepto de *Profit Pool*, según el cual el beneficio global de un contrato APP es la suma de tres componentes:
 - Rentabilidad sobre el capital aportado en la SPV, que resulta de la relación entre los flujos de caja a recibir por los accionistas de la sociedad, y el capital realmente aportado por ellos. Esta rentabilidad deriva de los dividendos que los accionistas de la SPV reciben, y habitualmente se obtiene a medio o largo plazo.
 - Beneficio del contrato de construcción. Este beneficio lo obtendrá la empresa que ejecute las obras. En el caso de que el accionista de la SPV sea a su vez una empresa constructora es habitual que ejecute estos trabajos directamente, por lo que obtendrá este beneficio de forma adicional a la rentabilidad del capital aportado.

- Beneficio del contrato de operación, por los trabajos a realizar para operar y mantener la infraestructura, una vez puesta en servicio.

Gracias a su experiencia, las empresas de tipo constructor tendrán una menor dificultad que las de otro tipo para gestionar los riesgos inherentes a la ejecución de las obras, y estarán más interesadas en los lotes con un mayor volumen de construcción con respecto a la inversión total necesaria.

- *Inversor*: participantes cuya actividad principal es la inversión en activos, con el objetivo de obtener un rendimiento a largo plazo. Un ejemplo típico son los fondos de inversión en infraestructuras. Este tipo de compañías no realizan directamente los trabajos de construcción y operación de las infraestructuras, sino que lo tienen que contratar a su vez con empresas contratistas especializadas. Esta situación genera una serie de inconvenientes:

- Las empresas contratistas que ejecuten las obras y las operadoras que realizan la operación y mantenimiento de las carreteras, añadirán su propio beneficio al coste de sus contratos, y este deberá de ser pagado por el participante inversor. Esto hace que los participantes del tipo inversor no se beneficien del margen de las actividades de construcción ni de operación, al tener que pagarlo a terceras empresas.
- Los intereses de la empresa contratista son diferentes a los del participante inversor ganador del lote APP, ya que su objetivo será principalmente la obtención del máximo beneficio en la construcción de las obras, mientras que el concesionario deberá de considerar todo el ciclo de vida del proyecto a largo plazo. Esta desalineación de intereses puede dar lugar a disputas y enfrentamientos entre contratista y concesionario.
- Otra consecuencia de que los participantes de carácter inversor no tengan experiencia en las labores de construcción, es que tendrán mayor aversión al riesgo técnico y económico inherente a la ejecución de obras, lo que les llevará a añadir mayores márgenes a sus ofertas.

Por todas estas razones, los participantes con carácter inversor darán mayor valor

a lotes con una menor carga del componente constructor respecto de la inversión total necesaria.

- *Mixtos*: cuando el participante está formado por un consorcio de empresas y dos de ellas, con diferentes tipos de actividad principal, tienen una alta tasa de participación (49% o superior). Estache y Iimi [25] han contrastado que la tendencia ha formar consorcios para licitar de forma conjunta en el sector de las carreteras, aumenta cuando lo hace el tamaño de los contratos .

Combinando las diferentes características, se han definido 15 categorías de participantes, que se han incluido en el modelo. Estas 15 categorías se han diseñado sobre la base de las características de los participantes reales que participaron en las tres olas del proceso de las 4G (ver Tabla 6.4).

En la segunda ola concurrieron un total de 27 participantes, pertenecientes a 10 de las 15 categorías (ver Tabla 6.4). Se ha incluido su distribución específica en el modelo, con el fin de simular al máximo las circunstancias reales de las subastas celebradas².

Para hacer referencia a cada participante individual, de entre los 27 que participaron en la segunda ola 4G, en lo sucesivo lo denominaremos con la nomenclatura: (categoría).(número de orden dentro de la categoría). Por ejemplo el cuarto participante de la categoría 10 se denominará como participante 10.4, que se corresponde con un constructor de tamaño medio.

En el Apartado 8.6 se comprueba la coherencia de la clasificación realizada, comparando las ofertas reales que realizaron los participantes de la segunda ola 4G, con la valoración teórica, resultante de aplicar el modelo de valoración a un conjunto de participantes teóricos, con las mismas características que los reales.

²Sólo hay 5 participantes, de entre los 27, con tamaño pequeño. Por esa razón, al realizar el análisis de resultados de las subastas modelizadas, se han agrupado con los de tamaño medio. De igual forma se ha procedido con de tipo mixto, de los que sólo hay 3, y se han agrupado con los de tipo inversor.

Tabla 6.4: Categorías de participantes.

Nacionalidad	Tamaño	Tipo de actividad	Categoría del modelo	Nº de participantes en la segunda ola 4G
Colombiano	Pequeño	Constructor	1	5
	Medio	Constructor	2	2
	Grande	Constructor	3	2
	Muy grande	Constructor	4	-
	Muy grande	Inversor	5	2
	Muy grande	Mixto	6	-
Asiático	Grande	Constructor	7	2
	Muy grande	Constructor	8	2
	Muy grande	Inversor	9	-
Resto del mundo	Medio	Constructor	10	6
	Grande	Constructor	11	-
	Grande	Mixto	12	3
	Muy grande	Constructor	13	1
	Muy grande	Inversor	14	2
	Muy grande	Mixto	15	-
Total				27

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

6.2. Variables clave de lotes y paquetes

En este apartado se describen las variables de los lotes y paquetes se incluyen en el modelo de valoración.

Se ha obtenido la información del portal web de la ANI [2], que ofrece, con acceso libre, una extensísima información relacionada con los lotes y los procesos de licitación de las 4G. A partir de ella, se ha determinado el conjunto de variables que afectan en mayor medida a la valoración que harán de ellos los diferentes participantes en las subastas. Se han buscado especialmente aquellas variables que tengan un impacto relevante y diferente para las diversas categorías de participantes.

Primero se describen las características que dependen exclusivamente de cada uno de los lotes, independientemente de como se agreguen en paquetes. A ésta se les denominará *variables intrínsecas*, y son:

- **Inversión (I):** Es el importe necesario para diseñar, financiar, construir y poner en

operación cada proyecto.

Este importe debe de ser obtenido por el participante que se adjudique cada lote. Como es habitual en los contratos tipo APP, este lo hará mediante la aportación, a la SPV que se constituya para desarrollar el contrato, de una combinación de capital y deuda.

En un lote APP tipo *greenfield*, la principal variable que afecta a la inversión total es, habitualmente, el coste de construcción de las obras a ejecutar. Este será función del volumen (longitud de las carreteras, número de carriles por sentido, volumen de tierras a excavar y de terraplenes a ejecutar, espesor del pavimento, etc.), y de la complejidad (túneles, viaductos de especial longitud, etc.) de las mismas. También afectan otros factores, como el coste de las expropiaciones de los terrenos por los que discurren las vías, costes de restitución de servicios públicos afectados por las obras, las medidas de restitución ambiental a implementar, el coste de la redacción de los proyectos técnicos y diseños de las obras y, finalmente y con especial relevancia, el coste de la deuda necesaria para financiar el proyecto.

Como se ha indicado en el apartado anterior, los participantes, dependiendo de cual sea su categoría, tendrán preferencia por lotes que conlleven la ejecución de cantidades de inversión mayores o menores, y realizarán su valoración en consecuencia.

- **Deuda (*D*):** Los pliegos de los contratos de las autopistas 4G fijaron, para cada uno de los lotes, los importes de deuda que, como mínimo, debían de contratar cada una de las SPVs que constituyesen los participantes ganadores. Esta cantidad se denominó *cierre financiero mínimo*, y debía de ser contratada antes de un plazo determinado desde la firma de los contratos de concesión. La administración incluyó esta exigencia, con el objetivo de asegurarse que los participantes en las subastas tuvieran una capacidad financiera suficiente para culminar con éxito los contratos.

Los participantes, en función de sus características, estarán mejor o peor preparados para obtener la mencionada financiación. Su valoración de los lotes, se verá por tanto afectada por la cantidad de deuda que deban de contratar.

- **Capital (*E*):** Al igual que en el caso anterior, los pliegos de los contratos establecieron,

para cada uno de los lotes, la cantidad de capital que, como mínimo, los participantes ganadores deberían de aportar a las SPVs encargadas de desarrollar los proyectos. Al igual que con la deuda, se establecieron unos determinados plazos, desde la firma del contrato, para que los adjudicatarios aportasen el capital requerido.

El hecho de establecer estos aportes mínimos busca un doble objetivo por parte de la ANI:

- Alineación de intereses. Asegurarse el *compromiso de los participantes ganadores* con el correcto desarrollo de los proyectos, que será mayor cuanto mayor capital hayan arriesgado en los mismos, y por tanto mayores pérdidas asuman en caso de fracaso.
- Financiabilidad de los proyectos. Asegurarse que *los participantes hayan previsto invertir*, en el capital de las SPVs que desarrollen los proyectos, una cantidad de capital suficiente para que las entidades financieras les otorguen la cantidad de deuda necesaria para afrontar la inversión a ejecutar.

Empresas del tipo constructor, suelen estar poco capitalizadas y tener un alto coste de acceso al capital [52], por lo que tendrán menor interés en lotes que exijan altas cantidades de capital.

- **Ratio Capital/Inversión (E/I):** Porcentaje de capital mínimo a aportar frente a la inversión necesaria para desarrollar el proyecto. Se ha considerado este ratio como especialmente relevante, pues indica la cantidad de capital que el participante ganador tiene que aportar, por unidad de inversión a ejecutar. Como se ha explicado en el Apartado 2.2, el ratio entre capital y deuda es una característica esencial de los contratos tipo APP. Se encuentra habitualmente entre rangos de 35:65 y 20:80³.

Participantes con perfil constructor, con limitaciones en el capital a aportar a las SPVs, e interés en ejecutar lotes con inversión en obra elevada, buscarán aquellos proyectos

³Para la presente investigación se ha decidido analizar el ratio entre capital e inversión en lugar del ratio entre capital y deuda, para poner mayor énfasis en las obras a ejecutar en el lote. Ambos ratios estarán íntimamente ligados entre sí, ya que, como anteriormente se ha explicado, la inversión necesaria para desarrollar el lote se financia principalmente con la suma de la deuda con entidades financieras y el capital propio invertido.

en los que el ratio sea lo más bajo posible. Sin embargo, participantes con un perfil inversor, con menor interés en la ejecución de obras, y mayor acceso al capital, tendrán más interés en lotes con ratios elevados.

Estas primeras cuatro variables, sólo dependen de las características individuales de cada uno de los lotes, o de las exigencias marcadas por la administración para ellos. Adicionalmente, se han identificado otras dos variables relevantes, que afectan a la valoración de los participantes al realizar sus ofertas, y que no dependen de cada uno de los lotes individuales sino de la agregación de los mismos para conformar un paquete. A éstas variables se les denominará *variables extrínsecas*, y son:

- **Conectividad (C):** Se ha determinado que dos lotes son conexos entre sí cuando son tramos contiguos de un mismo eje vial. Los participantes que resulten ganadores de dos lotes conexos obtendrán economías de escala en el coste de ejecución de las obras [19]. Ésta se genera, entre otras, por las siguientes razones:
 - La posibilidad de *compartir los costes de implantación* en la zona de construcción de las obras (oficinas, instalaciones, almacenes, plantas de producción de hormigón o asfalto, canteras, etc.) entre mayor volumen de negocio, reduciendo por tanto la cantidad a amortizar individualmente en cada uno de los proyectos.
 - La opción de *compartir costes de personal* (gerentes, responsables financieros, legales, gestores de expropiaciones, ambientales, etc.) entre los dos lotes, resultando en unos menores gastos generales en cada uno de ellos.
 - Poder *optimizar costes de obtención de materiales*, y gestionar de forma más eficiente las subcontrataciones, al tener mayor poder de negociación con los contratistas y empresas suministradoras, al poder negociar con ellos un mayor volumen de contratación.
 - Poder *amortizar los costes derivados de la compra de maquinaria pesada* necesaria para ejecutar las obras, entre los dos lotes, reduciendo el coste directo unitario de las actividades a ejecutar con esa maquinaria.

En el caso en el que se subastaran de forma sucesiva dos lotes conexos, mediante dos subastas independientes en la subasta del primer lote, ningún participante podrá tener en cuenta para su oferta las economías de escala anteriormente mencionadas, ya que no tendrá ninguna seguridad de adjudicarse posteriormente el lote conexo. Asimismo, durante la subasta del segundo lote, sólo podría beneficiarse de la economía de escala el participante que hubiera ganado en primer lugar.

Por el contrario, en las subastas combinatorias, los participantes pueden realizar sus valoraciones contando para ello con todos los lotes, por lo que los participantes tendrán la oportunidad de reflejar estas economías de escala en la valoración de los paquetes que contengan lotes conexos.

- **Capacidad óptima (OC) de cada participante:** Se define la OC como el número de lotes óptimo que un participante desea ganar en la subasta (o sucesión de subastas independientes de un lote).

Cada participante establecerá su propia estrategia en referencia a su OC . Lo hará en función de diversas variables, como son:

- Su *disponibilidad de capital* para invertir en uno o más lotes simultáneamente.
- Su *capacidad para obtener financiación* de entidades financieras para desarrollar uno o más lotes simultáneamente.
- Su *capacidad técnica, y disponibilidad de medios humanos*, que determina su capacidad de ejecutar uno o varios lotes simultáneamente.
- El *nivel de exposición* al riesgo de un país (riesgo político, económico, legal, etc.), o a una misma moneda, que el participante desee tener.
- Su *estrategia global de implantación geográfica* en el país donde se celebre la subasta.
- El *coste asociado a la implantación en el país*, que incluye el de los estudios técnicos y económicos necesarios para realizar su oferta. Cuando una empresa realiza una oferta en un país donde no está implantada previamente, debe de realizar un esfuerzo económico importante en estudiar asuntos como la fiscalidad,

la legislación (laboral, ambiental, contractual, etc.), los costes de mano de obra, el acceso a los suministros de materiales básicos (áridos, cemento, betún, acero), etc. También debe de estudiar las reglas específicas de las licitaciones en las que pretende participar. Cuanto más alto sea el coste de todo esto, se incrementará el número de lotes que desea ganar, para poder amortizarlo entre un volumen de negocio suficiente.

En una subasta combinatoria, los participantes realizarán una valoración superior por aquellos paquetes que contengan un número de lotes igual a su *OC* y, por lo tanto, realizarán ofertas más competitivas por ellos. Por el contrario, un participante tendrá menor interés por aquellos paquetes conformados por un número de lotes que, o bien no alcancen, o bien superen, su *OC*.

En caso de que el número de lotes del paquete no alcance su *OC*, el participante deberá de repercutir sus costes entre un volumen de negocio (menor del óptimo), lo que hará que su oferta sea menos competitiva. Por el contrario, si la composición de un paquete supera su *OC*, el participante tendrá que incluir en su estudio los sobrecostes y provisiones de gasto, para cubrir los riesgos inherentes a afrontar inversiones y desafíos técnicos por encima de sus capacidades. Esto provocará, de igual forma, que su oferta sea menos competitiva.

Para evaluar la *OC* también se podría haber tenido en consideración el tamaño de cada uno de los lotes que componen los paquetes. Sin embargo, este trabajo se centra en el número de lotes. En estudios futuros se podrá incluir el tamaño del lote como variable a incorporar en el modelo.

Estas seis variables se combinan en el modelo para generar la valoración teórica que cada participante hará, para cada uno de los diferentes escenarios analizados.

6.3. Combinación de participantes, lotes y paquetes

En los apartados anteriores, se han destacado las principales características de los lotes y paquetes, así como de la tipología de los participantes, que afectan al modelo de valoración. Se ha puesto especial atención en aquellas variables que tienen un impacto diferente en la valoración de cada lote y paquete por parte de los distintos participantes. Se han seleccionado magnitudes, como la inversión total a ejecutar, la deuda a contratar, o el capital requerido, que afectarán de forma diferente a la valoración que haga cada participante, en función de su tipología.

De la misma forma se han definido las categorías de participantes, centrándose también en aquellos aspectos de los mismos, que hacen que su valoración sea homogénea dentro de cada categoría, y diferente entre distintas categorías. Como se ha indicado, una subasta óptima es aquella que minimiza el pago del organismo licitador, lo que implica que se puedan desarrollar las infraestructuras programadas, con el menor desembolso de recursos públicos posible. Por tanto será aquella subasta que adjudique los 9 lotes al menor precio posible. Una subasta eficiente es aquella que adjudica cada lote al participante que tiene una mayor valoración del mismo siendo este el que mejor se adecúe a sus características particulares. Una adjudicación eficiente de los lotes conllevará una probabilidad menor de fracaso en el desarrollo y puesta en servicio de las infraestructuras.

La subasta que mejor permita a los participantes expresar en sus ofertas sus preferencias por determinados lotes y paquetes, facilitará este doble objetivo. Una vez caracterizados de esta forma lotes, paquetes y participantes, se ha construido el modelo de valoración. Se ha tomado el VB^{ANI} de cada lote como valor del que se parte para determinar la valoración que de él hagan los participantes.

En el siguiente capítulo se explica en detalle el modelo de valoración, explicando la forma en que se articulan las interacciones entre las características de lotes y paquetes, y las de cada categoría de participante.

Capítulo 7

Modelo de valoración

En este capítulo se explica en detalle el modelo de valoración construido. Este modelo es una de las principales aportaciones, siendo, según la investigación realizada, el único modelo de valoración construido específicamente para el importante sector de las APPs de infraestructuras de transporte.

Para desarrollar este modelo se ha realizado un amplio análisis de la literatura existente, así como también un estudio cuidadoso y detallado de las principales características de los proyectos de infraestructura tipo APP y de las empresas privadas que los desarrollan, de las administraciones públicas que los planifican, supervisan y controlan, y de los mercados financieros, que son imprescindibles para obtener los fondos necesarios para realizar las inversiones. Para ello ha sido de fundamental importancia la extensa experiencia en el sector del autor de esta tesis.

Los principales resultados y estructura del modelo se han publicado en un artículo en la relevante revista internacional *Transport Policy* [47].

Este capítulo está estructurado en los siguientes apartados.

- En el Apartado 7.1 se analizan los pasos necesarios para obtener la valoración de cada

lote y paquete por parte de cada participante.

- En el Apartado 7.2 se define el impacto de cada una de las variables.
- En el Apartado 7.3 se particulariza el valor de los impactos previamente definidos, sobre cada lote en función de sus características particulares.
- En el Apartado 7.4 se añaden a la valoración las singularidades de cada participante, y se define la matriz de ponderación.
- En el Apartado 7.5 se explica la valoración de paquetes, añadiendo los efectos de la conectividad entre lotes y de la capacidad de los participantes.
- En el Apartado 7.6 se detalla la forma de alcanzar el cálculo de la valoración teórica que cada participante realizaría sobre cada lote y paquete.

A lo largo de los apartados, para facilitar la comprensión del modelo, se ha incluido un ejemplo aclaratorio.

Fuera de este capítulo, pero relacionado con él, en el Apéndice B se explica como se ha obtenido lo que se denomina el valor base ajustado de cada lote VB_j^A , respecto del que los participantes realizarán sus pujas realizando un descuento. Se calcula a partir de los valores base originales VB^{ANI} .

7.1. Pasos para implementar el modelo de valoración

El modelo de valoración simula las ofertas teóricas que realizaría cada participante en una subasta (independiente de un lote o combinatoria) en la que se ofreciesen los lotes de la segunda ola de las carreteras 4G en Colombia. En concreto, el modelo calcula el porcentaje de descuento que se realiza respecto de un valor base, y genera las ofertas finales que presentarían los participantes. Cuanto mayor sea el descuento ofertado, más competitiva será la oferta y mayores las posibilidades de ganar. El modelo se construye de acuerdo con los siguientes pasos:

1. Cálculo de los **Valor Base Ajustado** (VB_j^A)¹, a partir de los VB_j^{ANI} . Se define VB_j^A como la valoración que un lote j tiene para un participante cuya preferencia de valoración sea neutral respecto de ese lote. Estos VB_j^A son los que se usarán como valor de referencia para el modelo de valoración. Sobre ellos se aplican descuentos o incrementos, para determinar la valoración que tienen para cada participante en particular.

2. Definición del **impacto provocado por cada una de las seis variables de lotes y paquetes**, definidas en el Apartado 6.2. Se define el impacto como el máximo efecto porcentual en valor absoluto, que cada una de las variables tendrá sobre la valoración que los participantes hagan de los paquetes. Este máximo efecto se verá particularizado, tanto en importe como en signo, en cada valoración efectuada por las características de los lotes y participantes específicos para los que se calcula esa valoración. Para dotar al modelo de mayor robustez, se han establecido diferentes escenarios:
 - *Escenarios básicos*. En éstos, el valor de los impactos varía en un rango de entre el 0% y el 5%².
 - *Escenarios extremos*, en los que se establece un valor del impacto del 12% para alguna de las variables. Se ejecutan estos escenarios con el objetivo de analizar los resultados, bajo la hipótesis de que alguna variable afecta de una forma especialmente alta a la valoración.

3. **Ajuste del impacto de cada una de las variables**, de forma específica **para cada uno de los lotes**, a partir del máximo valor absoluto determinado anteriormente. Ésta se realiza en función del valor relativo de cada una de las variables de un lote, respecto de la misma variable del resto de lotes. Se ha calculado un coeficiente de

¹Para calcular los VB_j^A , a partir de los VB_j^{ANI} se utiliza el propio modelo de valoración aplicado sobre el caso real de las adjudicaciones de los 9 lotes de la segunda ola 4G. Para facilitar la comprensión al lector, la explicación de la forma en que se han calculado los VB_j^A se ha incluido en el Apéndice B.

²Estos valores se han tomado en base a la experiencia del autor, de forma que en un caso en que los impactos de todas las variables tomase el valor máximo asignado, el descuento resultante sobre el VB_j^A sea del entorno del 22%, valor que es razonable y en línea con las experiencias reales de mercado. En escenarios reales, los valores cambiarán de un caso a otro. Sin embargo, para el objeto de nuestro estudio lo que es más relevante es que se han adoptado los mismo valores para los dos tipos de subasta analizados y comparados.

ajuste que aplica sobre el impacto, con valores en el rango entre -1 y +1. La valoración de lotes que tengan los valores extremos de cada variable, inferior e superior, se verá afectada, en negativo o en positivo respectivamente, por el valor máximo del impacto establecido para cada una de ellas. El efecto a la valoración del resto de los lotes con valores intermedios de las variables se calcula de forma proporcional al valor de las variables respecto de los extremos.

4. Particularización del **impacto ajustado en el paso previo, que produce cada variable** de cada lote, **en función de las diferentes categorías de participantes** que los evalúen. Se particulariza aplicando un coeficiente con valor -1 , $-0,5$, $+0,5$ o $+1$, para cada variable, en función de que, un incremento en su valor, sea valorado por la categoría de participante de forma muy negativa, negativa, positiva o muy positiva respectivamente. Estos valores quedan recogidos en lo que se ha denominado matriz de ponderación, dentro de el Apartado 7.4.
5. Una vez caracterizados los impactos por variable de cada lote, respecto a las categorías de participantes, se incluyen de forma específica en el cálculo **los impactos de las variables relacionadas con la conformación de los paquetes, con lo que se culmina el modelo de valoración** dando como resultado el valor que cada participante otorga a cada lote o paquete.
6. Finalmente, se calcula la valoración a realizar por cada tipo de participante para cada lote y paquete, y el **descuento final que supone respecto a los VB_j^A y los VB_j^{ANI}** .

La Figura 7.1 muestra los pasos seguidos en el modelo de valoración para generar las valoraciones finales. Una descripción detallada de estos pasos se presenta en los siguientes apartados.

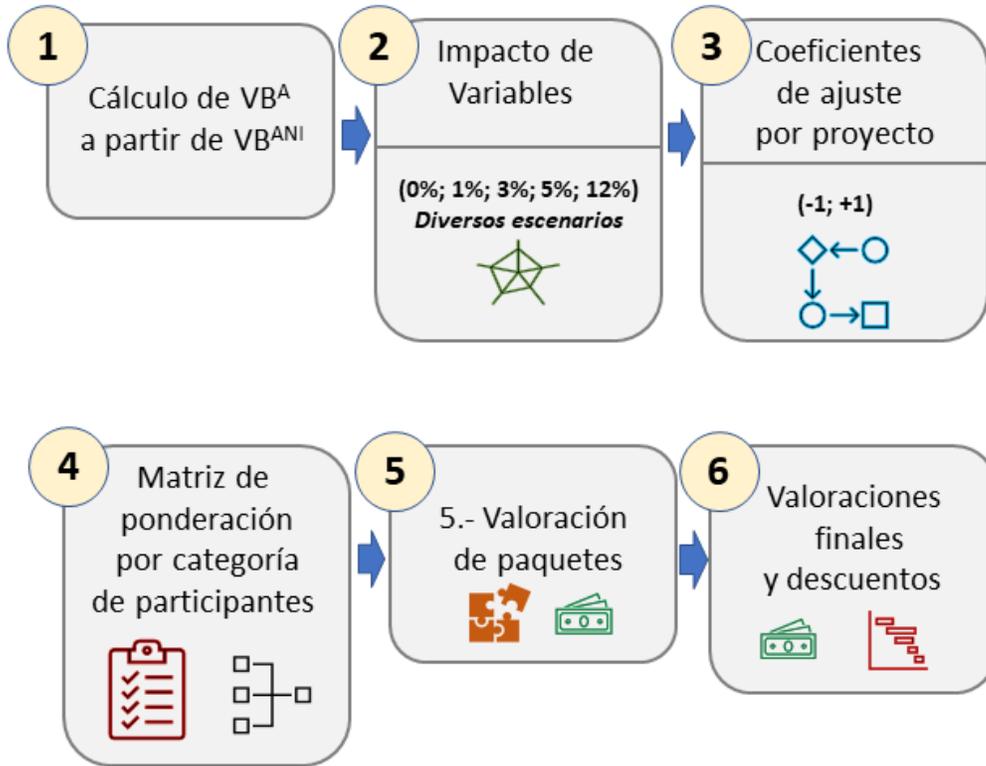


Figura 7.1: Pasos del modelo de valoración.

Fuente: elaboración propia.

7.2. Impacto de variables en la generación de escenarios

Como se describe en el Apartado 6.2, se han identificado cuatro variables que afectan a la valoración de lotes individuales (I , D , E y E/I), y dos variables adicionales que afectan a la valoración de paquetes (C y OC).

En el modelo se representan estas variables como $v = (1, 2, \dots, 6)$, donde:

- I se representa como $v = 1$.
- D se representa como $v = 2$.
- E se representa como $v = 3$.

- E/I se representa como $v = 4$.
- C se representa como $v = 5$.
- OC se representa como $v = 6$.

La ANI determinó durante el proceso de estructuración los valores específicos para las cuatro primeras variables (ver Tabla 7.1). Estos valores se toman como referencia en el siguiente apartado para ajustar cada variable. El valor de las dos últimas variables no es inherente a las características de los lotes, sino que dependerá de la agregación de los mismos en paquetes.

Tabla 7.1: Valor de las variables de los lotes.

Lote	$I(v = 1)$ <i>MUSD</i>	$D(v = 2)$ <i>MUSD</i>	$E(v = 3)$ <i>MUSD</i>	$E/I(v = 4)$
2.1.	135	57	36	27 %
2.2.	165	87	59	40 %
2.3.	586	308	209	39 %
2.4.	467	265	133	30 %
2.5.	370	230	156	43 %
2.6.	471	290	113	25 %
2.7.	523	265	148	29 %
2.8.	508	317	206	43 %
2.9.	460	299	131	31 %

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

Para evaluar el impacto que cada una de estas variables puede tener sobre las ofertas de los participantes, se han definido diferentes conjuntos de valores para los impactos. Cada uno de estos conjuntos se ha denominado escenario. El valor del impacto de cada variable se representa como I_v . El rango de los valores de impacto es de $0\% \leq I_v \leq 5\%$ para los escenarios básicos y de hasta 12% para los escenarios extremos. En el Capítulo 8 se han descrito y probado un total de nueve escenarios.

Para facilitar la comprensión del modelo, en los siguientes apartados de este capítulo, se va a ir desarrollando un ejemplo en paralelo a su explicación y desarrollo. Se diferenciará del resto del texto mediante líneas de puntos y el uso de letra *cursiva*.

.....

Ejemplo. Paso 1 de 7: valor del impacto según el escenario

En el ejemplo se va a explicar paso a paso como se calcula la valoración del Participante 1 por el lote 1, bajo el Escenario 1 (ver apartado 8.3).

Se comienza el ejemplo indicando el impacto de la variable inversión (I_1) en el Escenario 1, que es del 3%.

.....

Para desarrollar el modelo de valoración, se ha ajustado el valor del impacto para cada lote específico mediante un coeficiente de ajuste, en función del valor de cada una de las variables de ese lote, en relación con el resto.

Este impacto ajustado por lote tendrá a su vez un efecto diferente para cada categoría de participante, en función de sus diferentes intereses. Este segundo ajuste se realiza a través de la matriz de ponderación.

Ambos ajustes se describen en los siguientes apartados.

7.3. Impactos de cada variable ajustados por lote

Los 9 lotes incluidos en el proceso tienen características similares pero sin embargo sus magnitudes son diferentes, lo que afecta a la valoración que de ellos hace cada participante. En el apartado anterior se ha definido I_v como el máximo efecto porcentual, en valor absoluto, que cada una de las variables podrá tener sobre la valoración de los lotes y paquetes por parte de los participantes. En el modelo de valoración se ha determinado que este impacto máximo se tendrá, para cada variable, en los lotes en el que esa variable tenga un valor extremo, máximo o mínimo. El lote con valor máximo de la variable se verá afectado por el máximo valor del impacto, con signo positivo, y el lote con menor valor de la variable, se

7.3. Impactos de cada variable ajustados por lote

verá afectado por el valor máximo del impacto, con signo negativo. Para realizar este ajuste del valor de impacto de cada variable v para cada uno de los lotes j se utiliza un Coeficiente de Ajuste por Lote ($\beta_{v,j}$).

La Tabla 7.2 muestra los valores $\beta_{v,j}$, que están comprendidos en el intervalo $-1 \leq \beta_{v,j} \leq +1$. Para calcular los valores $\beta_{v,j}$ primero se consideran los valores de cada variable establecidos por la ANI para cada lote (ver Tabla 7.1). Para cada variable, se valora $\beta_{v,j}$ con +1 para el lote con el mayor valor de esa variable y con -1 para el de menor valor. El resto de coeficientes de ajuste se calculan de forma proporcional al valor de cada variable de cada lote respecto de los extremos.

El caso de los valores de $\beta_{5,j}$ y $\beta_{6,j}$, para las variables de capacidad y conectividad, es especial, pues al no depender del magnitudes intrínsecas de los lotes, sino de la conformación de los paquetes, tendrán siempre valor 0. Se podría haber optado por directamente no incluir estos coeficientes, pero para mayor orden de la formulación se ha decidido mantenerlos, aunque con valor cero. Su efecto específico se incluye más adelante en el Apartado 7.5.

Tabla 7.2: Valor del coeficiente de ajuste por variable y lote.

Lote	$\beta_{1,j}$	$\beta_{2,j}$	$\beta_{3,j}$	$\beta_{4,j}$	$\beta_{5,j}$	$\beta_{6,j}$
2.1.	-1,0	-1,0	-1,0	-0,8	0	0
2.2.	-0,9	-0,8	-0,7	0,7	0	0
2.3.	1,0	0,9	1,0	0,5	0	0
2.4.	-0,5	0,6	0,1	-0,5	0	0
2.5.	0,0	0,3	0,4	1,0	0	0
2.6.	0,5	0,8	-0,1	-1,0	0	0
2.7.	0,7	0,6	0,3	-0,6	0	0
2.8.	0,7	1,0	1,0	1,0	0	0
2.9.	0,4	0,9	0,1	-0,3	0	0

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI

El impacto que la variable v ajustado para el lote j se determinará en el modelo multiplicando el impacto por su coeficiente de ajuste: $I_v \cdot \beta_{v,j}$.

.....

Ejemplo. Paso 2 de 7: ajuste del impacto según la variable

Siguiendo con el ejemplo del apartado anterior, en el Escenario 1, el impacto de la variable inversión es de $I_1 = 3\%$. El factor de ajuste para el lote 2.1 es de $\beta_{1,1} = -1$ (es el lote con menor inversión), por lo que el valor del impacto ajustado por lote será de $-3,0\%$: $I_1 \cdot \beta_{1,1} = (3,0\%) \cdot (-1) = -3,0\%$.

.....

El siguiente paso en el modelo es particularizar los impactos ajustados, en función de la categoría del participante que valora el lote.

7.4. Matriz de ponderación por variable y categoría de participante: valoración de un lote

La particularización de cómo una variable v afecta a la valoración del participante i se ha realizado mediante el Factor de Ponderación ($W_{v,i}$), que adopta valores en el rango $-1 \leq W_{v,i} \leq +1$. La matriz de ponderación para cada variable y categoría de participante se incluye en la Tabla 7.3.

Las ponderaciones establecidas para las diferentes categorías de participantes se han fijado en función del análisis de detalle del Apartado 6.1, así como del conocimiento del sector por parte del autor. A continuación se exponen los criterios que se ha utilizado:

- Una empresa con perfil constructor tendrá un mayor interés relativo por lotes que requieren mayor inversión, en virtud del concepto de *Profit Pool* explicado en el el Apartado 6.1. Por el contrario, compañías con perfil inversor tienen una ponderación relativamente menor para lotes de elevada cantidad de obra a ejecutar (I).
- Los participantes con perfil inversor tendrán mayor facilidad para contratar deuda con entidades financieras, por lo que tendrán una mayor ponderación relativa para los lotes que requieren una mayor cantidad de deuda (D).

Tabla 7.3: Matriz de ponderación por variable y categoría de participante.

Participante Categoría	$W_{1,i}$	$W_{2,i}$	$W_{3,i}$	$W_{4,i}$	$W_{5,i}$	$W_{6,i}$
	(I)	(D)	(E)	(E/I)	(C)	(OC)
1	0,5	-1,0	-1,0	-1,0	1	1
2	0,5	-0,5	-1,0	-1,0	1	1
3	0,5	-0,5	-0,5	-0,5	1	1
4	1,0	0,5	-0,5	-0,5	1	1
5	-0,5	1,0	0,5	0,5	1	1
6	0,5	0,5	-0,5	-0,5	1	1
7	0,5	-0,5	-1,0	-1,0	1	1
8	1,0	0,5	0,5	0,5	1	1
9	0,5	1,0	1,0	1,0	1	1
10	-0,5	-0,5	-1,0	-1,0	1	1
11	0,5	-0,5	-0,5	-0,5	1	1
12	-0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
13	0,5	-0,5	-1,0	-1,0	1	1
14	-0,5	1,0	1,0	1,0	1	1
15	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1

Fuente: elaboración propia.

- De igual forma, los participantes con perfil inversor tendrán mayor disponibilidad de capital para invertir, a un menor coste de oportunidad, por lo que tendrán una mayor ponderación relativa en lotes que requieren mayor cantidad de capital (E).
- Los participantes con perfil constructor tienen una mayor ponderación para lotes con menor valor del ratio de capital sobre inversión (E/I) ya que quieren maximizar la inversión a ejecutar en relación al capital invertido.
- Las empresas de mayor tamaño tendrán una mayor ponderación para los lotes con mayor valor de inversión (I), deuda (D) o capital (E), y viceversa sucederá con las empresas de menor tamaño.
- Se ha considerado que todos los participantes tienen la misma ponderación para la conectividad (C), ya que todos ellos podrán beneficiarse de las sinergias que se generen al adjudicarse dos lotes conexos. Por lo tanto, la ponderación de esta variable 5 no dependerá de la categoría del participante, y se puede expresar de forma general $W_5 = 1$.
- Los inversores y las empresas más grandes tienen mayor capacidad óptima (OC) que las empresas más pequeñas, ya que su capacidad para invertir y desarrollar varios lotes al

mismo tiempo es mayor. Por tanto, la *OC* de las diferentes categorías de participantes será diferente, y valorarán de forma distinta los paquetes en función del número de lotes que los conformen, como se verá en el Apartado 7.5.

Se ha considerado que la ponderación sobre la *OC* es igual para todos los participantes, pues todos tenderán a tratar de ganar un paquete formado por un conjunto de lotes tal que alcance su *OC*. De igual forma que con la conectividad, la ponderación de la variable 6 no dependerá de la categoría de participante, y se puede expresar de forma general como $W_6 = 1$.

.....

Ejemplo. Paso 3 de 7: ajuste del impacto según la categoría de participante

Según el ejemplo de los apartados anteriores, en el Escenario 1, el valor del impacto ajustado de la variable inversión (I_1), para el lote 2.1 era de $-3,0\%$. Si se desea particularizar este valor para un participante del tipo 1 (constructor pequeño), se debe de aplicar el valor $W_{1,1}$, que es igual a 0,5: $(I_1 \cdot \beta_{1,1}) \cdot W_{1,1} = (-3,0\%) \cdot (0,5) = -1,5\%$

.....

Con las ponderaciones anteriores, se determina la forma en que cada variable ($v = 1, \dots, 6$) de cada uno de los lotes (j), afecta a la valoración final que tenga de ellos cada categoría de participante (i), utilizando la Ecuación (7.1), donde $\gamma_{i,j}(\%)$ es el valor del impacto específico por lote y participante.

$$\gamma_{i,j}(\%) = 100\% + \sum_{v=1}^6 (I_v \cdot \beta_{v,j} \cdot W_{v,i}), \tag{7.1}$$

Con esto podemos obtener la valoración de un participante (i) para un lote (j), sin tener en cuenta aún su agrupación en paquetes ($V_{i,j}^*$). Se determina mediante la Ecuación (7.2).

$$V_{i,j}^* = \frac{VB_j^A \cdot 1}{\gamma_{i,j}(\%)} = \frac{VB_j^A \cdot 1}{1 + \sum_{v=1}^6 (I_v \cdot \beta_{v,j} \cdot W_{v,i})} \quad (7.2)$$

.....

Ejemplo. Paso 4 de 7: valoración según el escenario, el participante y el lote

Continuando con el ejemplo, aplicando la Ecuación (7.1) al Escenario 1, el lote 2.1 y un participante tipo 1, el valor de la inversión de $\gamma_{1,1}(\%)$ es el de 101,5% como calculado en la Ecuación (7.3). Para simplificar el ejemplo, en este paso solo se expone una única variable, la variable (I), pero en el modelo se calcula el sumatorio de todas las variables.

$$\gamma_{1,1}(\%) = 100\% + (I_1 \cdot \beta_{1,1} \cdot W_{1,1}) = 100\% + 1,5\% = 101,5\% \quad (7.3)$$

Y el valor del lote 2.1 para el participante 1, en el Escenario 1, si sólo existiera la variable (I), sería el expresado en la Ecuación (7.4):

$$V_{1,1}^* = \frac{VB_1^A \cdot 1}{1 + (I_1 \cdot \beta_{1,1} \cdot W_{1,1})} = \frac{87.126.467 \cdot 1}{1,015} = 87.257.156 \quad (7.4)$$

.....

Los valores de paquetes, que incluyen las últimas dos variables, se describen en el siguiente apartado.

7.5. Valoración de paquetes

Cuando se consideran múltiples lotes en una subasta combinatoria, para calcular la valoración de los paquetes, se deben de aplicar los valores de la conectividad (C) y la

capacidad óptima (OC) a la valoración individual de cada lote obtenida en el apartado anterior.

En el modelo se ha limitado el número máximo de lotes incluidos en un paquete. Para definir este número de una forma acorde con la realidad, se ha analizado el número de lotes que ganó un mismo participante en las dos primeras olas de las 4G, tanto individualmente como en consorcio con otros. Los resultados están reflejados en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4: Primera y segunda ola 4G. Número de lotes adjudicados por participante.

Nombre del participante	Lotes adjudicados	Nº de adjudicaciones
Mario Huertas	1.1; 1.4; 1.5	3
Episol	1.2; 1.9; 2.3	3
Sacyr	2.1; 2.6; 2.8	3
KMA	1.7; 2.2	2
Odinsa	1.3	1
Shikun	1.6	1
OHL	1.8	1
Controladora de Op	2.4	1
Hidalgo	2.5	1
Cintra	2.7	1
China Harbour	2.9	1

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

El máximo número de lotes adjudicados a una misma empresa es de tres, tanto en el global de las dos olas, como en cada una de ellas. Por ello, para este análisis, se han tomado este número de lotes, contrastado con los procesos reales, para definir, tanto el tamaño máximo de lotes que componen un paquete, como la máxima OC de los participantes en el proceso. Haber establecido un número mayor a tres hubiese complicado exponencialmente los cálculos a realizar, sin obtener ventajas relevantes para la investigación, y alejando el modelo de la realidad.

A continuación se indica como se incluye el efecto de la conectividad y la capacidad óptima en la valoración que un participante por un determinado paquete. El efecto se introduce, para ambas variables, como un factor que multiplica a la valoración calculada en el apartado anterior.

- **Conectividad (C):** el valor de la conectividad de los lotes incluidos en el paquete S se representa como C_S . En el caso particular que ocupa a este trabajo, el máximo número de lotes conectados entre sí es de dos³. Por tanto, y dado que para este análisis se ha definido el tamaño máximo de paquete, con una composición máxima de tres lotes, la existencia o no de lotes conectados en un paquete es un dato binario (o hay dos lotes conectados, o no hay ninguno).

En el modelo se establece un valor de $C_S = 1$ si el paquete incluye lotes conectados, o de $C_S = 0$ en caso contrario. El impacto del valor de conectividad en la valoración de los paquetes ($\lambda_{5,S}$) se representa con la Ecuación (7.5).

$$\lambda_{5,S} = (1 - (I_5 \cdot W_5 \cdot C_S)) \tag{7.5}$$

.....

Ejemplo. Paso 5 de 7: valor del paquete ajustado según la conectividad

Siguiendo con el ejemplo, en el Escenario 1, para un participante del tipo 1, el valor del impacto del valor de conectividad en la valoración de los paquetes será el expresado en la Ecuación (7.6), en el caso de que el paquete que se esté valorando contenga lotes conectados y el de la Ecuación (7.7) en el caso contrario.

$$\lambda_{5,S} = (1 - (I_5 \cdot W_5 \cdot C_S)) = (1 - (0,03 \cdot 1 \cdot 1)) = 0,97 \tag{7.6}$$

$$\lambda_{5,S} = (1 - (I_5 \cdot W_5 \cdot C_S)) = (1 - (0,03 \cdot 1 \cdot 0)) = 1 \tag{7.7}$$

En el caso en que en el paquete existan lotes conectados, el multiplicador reduce el valor del paquete para el participante, lo que le permitirá ofertar de una forma más agresiva, ofreciendo un mayor descuento.

.....

³Como se ha indicado en el Apartado 5.3, sólo los paquetes (2.6 y 2.9) y los (2.2 y 2.3) están conectados entre sí.

- Capacidad óptima** de cada participante: basado en las categorías de participantes descritas en el Apartado 6.1, se ha establecido para cada categoría de participante, su capacidad óptima específica, que se denominará a partir de este momento (OC_i^*), y representa el número óptimo de lotes que cada participante desea adjudicarse (ver Tabla 7.5).

Tabla 7.5: OC_i^* por categoría de participante.

Categoría de Participante	OC_i^*
1	1
2	2
3	2
4	3
5	3
6	3
7	1
8	2
9	2
10	2
11	3
12	3
13	1
14	3
15	3

Fuente: elaboración propia.

Se define $OC_{i,S}$ como el valor del coeficiente, derivado de la relación entre el tamaño del paquete S por el que se presenta oferta, y la capacidad óptima OC_i^* del participante i . Cada participante i tendrá un valor del impacto $OC_{i,S}$ para el paquete S que dependerá de la diferencia entre el número de lotes incluido en éste, y la OC_i^* del participante. Se establece el valor de $OC_{i,S}$ como 0, 0,5 o 1 respectivamente, para valores absolutos de la diferencia entre el número de lotes incluidos en el paquete S y la OC_i^* de 2, 1 o 0, como se puede ver en la Tabla 7.6.

Tabla 7.6: Valor de $OC_{i,S}$.

Abs(Nº lotes en paquete S - OC_i^*)	$OC_{i,S}$
2	0
1	0,5
0	1

Fuente: elaboración propia.

Para incluir en el modelo de valoración el impacto derivado de la variable capacidad óptima en relación al paquete S ($\lambda_{6,S}$), se utiliza la Ecuación (7.8).

$$\lambda_{6,S} = (1 - (I_6 \cdot W_6 \cdot OC_{i,S})) \tag{7.8}$$

donde I_6 se define para cada escenario.

.....

Ejemplo. Paso 6 de 7: valor del paquete ajustado según la capacidad óptima

Siguiendo con el ejemplo, en el Escenario 1, para un participante del tipo 1, el valor del impacto derivado de la variable capacidad óptima en relación al paquete S será el expresado en la Ecuación (7.9), para el caso de que el número de lotes del paquete que se esté valorando sea igual a la OC_1^ , el de la Ecuación (7.10) para el caso en que la diferencia entre el número de lotes del paquete que se esté valorando y la OC_1^* sea de 1 y el de la Ecuación (7.11) para el caso en que la diferencia entre el número de lotes del paquete que se esté valorando y la OC_1^* sea de 2.*

$$\lambda_{6,S} = (1 - (I_6 \cdot W_6 \cdot OC_{1,S})) = (1 - (0,03 \cdot 1 \cdot 1)) = 0,97 \tag{7.9}$$

$$\lambda_{6,S} = (1 - (I_6 \cdot W_6 \cdot OC_{1,S})) = (1 - (0,03 \cdot 1 \cdot 0,5)) = 0,985 \tag{7.10}$$

$$\lambda_{6,S} = (1 - (I_6 \cdot W_6 \cdot OC_{1,S})) = (1 - (0,03 \cdot 1 \cdot 0)) = 1 \tag{7.11}$$

.....

Cuanto más se acerque el número de lotes del paquete que se esté valorando a la OC_i^* , el multiplicador permitirá ofertar de una forma más agresiva.

7.6. Cálculo de la valoración final y del descuento

La valoración final que el participante i realiza por el paquete S ($O_{i,S}$) según el modelo se calcula con la Ecuación (7.12), donde j son los lotes incluidos en el paquete S .

$$O_{i,S} = \sum_{j \in S} \frac{VB_j^A}{1 + \sum_{v=1}^6 (I_v \cdot \beta_{v,j} \cdot W_{v,i})} \cdot (1 - I_5 \cdot W_5 \cdot C_S) \cdot (1 - I_6 \cdot W_6 \cdot OC_{i,S}) \quad (7.12)$$

La Ecuación (7.12) se puede expresar como:

$$O_{i,S} = \sum_{j \in S} \frac{VB_j^A}{\gamma_{i,j}} \cdot (\lambda_{5,S}) \cdot (\lambda_{6,S}) \quad (7.13)$$

La Ecuación (7.13) también puede expresarse como:

$$O_{i,S} = \sum_{j \in S} \frac{VB_j^A}{\frac{\gamma_{i,j}}{(\lambda_{5,S}) \cdot (\lambda_{6,S})}} \quad (7.14)$$

A su vez, la Ecuación (7.14) se puede simplificar como:

$$O_{i,S} = \sum_{j \in S} \frac{VB_j^A}{\Omega_{i,j}} \quad (7.15)$$

Esta valoración sería la oferta que el participante i realizaría por el paquete S , según el modelo de valoración. Como se ha indicado, el modelo de asignación, para establecer las ofertas definitivas, aplica un factor de distorsión o ruido gaussiano a las valoraciones, como se detalla en los Apartados 8.1 y 8.2

Es de interés en este punto indicar que $\Omega_{i,S}$, aplicado a los datos reales de los ganadores de cada lote en el proceso de licitación de la segunda ola de las 4G, es el valor que se usará para ajustar los VB_j^{ANI} y obtener los VB_j^A (ver Apéndice B).

Una vez que se calcula la valoración final, también se puede calcular el descuento que ese participante i realizaría por el paquete S ($\delta_{i,S}$), respecto de la suma de los VB_j^{ANI} según la Ecuación (7.16).

$$\delta_{i,S}(\%) = 1 - \frac{O_{i,S}}{\sum_{j \in S} VB_j^{ANI}}. \quad (7.16)$$

.....

Ejemplo. Paso 7 de 7: cálculo de la oferta final (descuento sobre el valor base)

Como culminación del ejemplo desarrollado en los apartados anteriores, se calcula la valoración final de un participante $i=1$ para el paquete conformado por el lote $j=1$ ($O_{1,1}$) en el Escenario 1. Se tiene en cuenta para la finalización del ejemplo el impacto de todas las variables.

En este ejemplo, dado que no hay lotes conexos⁴, la variable C_j tiene valor $C_j=0$, y consecuentemente el término ($\lambda_{5,S}$) es igual a 1..

Por su lado, el valor del término ($\lambda_{6,S}$) depende de la OC_i^ del participante. En este ejemplo $OC_1^*=1$ por tanto el número de lotes que conforman este paquete (uno), es igual a su capacidad óptima ($OC_1^* = 1$), por lo que la variable OC_1 tendrá valor $OC_1=1$, y consecuentemente el término ($\lambda_{6,S}$) será igual a 0.97. Todos los cálculos se muestran en la Tabla 7.7.*

Reemplazando los valores de la Tabla 7.7 en la Ecuación (7.12) obtenemos la valoración

⁴Si el paquete S hubiera incluido lotes conexos, $C_S = 1$, por lo que $(1 - (0,03 \cdot 1 \cdot 1)) = 0,97$. Esto significa que los participantes habrían realizado una valoración final más agresiva incluyendo este descuento

Tabla 7.7: Ejemplo: parámetros del participante de categoría 1 para el lote 1.

Variable	I_v	$\beta_{v,1}$	$W_{v,1}$	$I_v \beta_{v,1} W_{v,1}$
$I(v = 1)$	3 %	-1,0	0,5	-1,5 %
$E(v = 2)$	3 %	-1,0	-1,0	3,0 %
$D(v = 3)$	3 %	-1,0	-1,0	3,0 %
$E/I(v = 4)$	3 %	-0,8	-1,0	2,4 %
$C(v = 5)$	3 %	0	1	0
$OC(v = 6)$	3 %	0	1	0
$\gamma_{1,1} = 1 + \sum_{v=1}^6 (I_v \cdot \beta_{v,1} \cdot W_{v,1})$				106,9 %

Variable	I_v	C_S	$W_{v,1}$	$(1 - I_5 \cdot W_5 \cdot C_S)$
$C(v = 5)$	3 %	0	1	1
$(\lambda_{5,S})$				1

Variable	I_v	$OC_{1,S}$	$W_{v,1}$	$(1 - I_6 \cdot W_6 \cdot OC_{1,S})$
$C(v = 6)$	3 %	1	1	0,97
$(\lambda_{6,S})$				0,97

$\Omega_{1,1} = \frac{1,069}{(1) \cdot (0,97)}$	110,2 %
---	---------

Fuente: elaboración propia.

final del participante 1 por el lote 1, bajo la Hipótesis 1:

$$O_{1,1} = \frac{VB_1^A \cdot 1}{1,102} \tag{7.17}$$

donde $VB_1^A = 87.126.467$ USD y la oferta final es $O_{1,1} = 79.057.692$ USD.

Esta oferta implica una rebaja respecto del VB_1^{ANI} que se calcula de la siguiente forma:

$$\delta_{1,1} = \left(1 - \frac{79.057.692 \text{ USD}}{101.830.841 \text{ USD}}\right) \cdot 1 = 0,22 = 22\% \tag{7.18}$$

.....

Con este modelo de valoración, que, como se ha indicado, tiene en cuenta la interacción entre los principales participantes en el sector de las infraestructuras desarrolladas en régimen de APP, se obtiene la valoración que, cada uno de los participantes, hace de cada uno de los lotes y paquetes. Una vez obtenidas las valoraciones, el siguiente paso es la asignación de los

lotes. Para ello se ha construido un modelo de asignación completo, que se explica en detalle en el Capítulo 8.

Capítulo 8

Modelo de asignación y escenarios analizados

Se ha aplicado el modelo de valoración descrito en el Capítulo 7 para establecer el valor que tendría cada uno de los lotes subastados, para cada uno de los participantes, en cada uno de los diferentes escenarios definidos.

Una vez obtenidas estas valoraciones, se aplica el modelo de asignación, que se explica en este capítulo, con el fin de determinar qué participante se adjudica cada lote, en cada uno de los escenarios. El proceso de asignación de lotes ha sido resuelto tanto para el caso de una serie de subastas independientes de un lote, como para el de una subasta combinatoria.

Los escenarios se generan estableciendo diferentes valores para el impacto (I_v) que cada variable pueda tener sobre las ofertas. Cada combinación de valores de impacto constituye un escenario, donde I_v varía entre el 0% y el 5% para los escenarios principales, llegando hasta el 12% en los escenarios extremos.

Se ha estructurado el capítulo en los siguientes apartados.

- En el *Apartado 8.1* se describe el modelo de asignación construido.

- En el *Apartado 8.2* se razona el valor que se ha dado al factor de ruido gaussiano incluido en el modelo.
- El *Apartado 8.3* se establecen los escenarios principales.
- En el *Apartado 8.4* se exponen los escenarios extremos.
- en el *Apartado 8.5* se muestra, paso a paso, el proceso completo de valoración y asignación en la primera de las repeticiones del Escenario Base.
- Por último, en el *Apartado 8.6* se ha contrastado la validez de los modelos de valoración y de asignación. Para ello se han comparado los resultados teóricos de los modelos con los resultados reales de la segunda ola 4G.

8.1. Modelo de asignación

La asignación de los contratos, en el caso de las subastas independientes de un lote, es sencilla: la administración resolverá individualmente cada subasta, adjudicando cada lote al participante que realice la menor puja (menor pago de la administración al participante). Por lo tanto su resolución no genera mayor complejidad.

Para la asignación de las subastas combinatorias se ha desarrollado un complejo modelo de asignación, que resuelve el WDP explicado en el Apartado 4.2.

En cada simulación, como primer paso, se aplica el modelo de valoración para calcular las valoraciones de cada uno de los participantes, para cada uno de los posibles paquetes compuestos por 1, 2 o 3 lotes. Seguidamente, se determinan todas las posibles combinaciones viables para la asignación de paquetes, de forma que todos los lotes sean adjudicados, y ningún lote se adjudique más de una vez. De entre todas éstas, el modelo de asignación escoge aquella que minimiza el precio total a pagar por la administración por el conjunto de los 9 lotes. Este modelo ha sido publicado en la revista internacional *Transport Policy* [47].

Con el fin de evitar resultados sesgados y analizar la robustez del estudio realizado para cada uno de los escenarios se han realizado 50 simulaciones, en las que las valoraciones de los lotes se ven afectadas por un factor de ruido, simulado mediante una distribución gaussiana, que toma valores en el rango entre -3% y $+3\%$.

La introducción de este factor de variabilidad proporciona una mayor robustez al análisis, ya que introduce incertidumbre y ayuda a simular de forma más realista los posibles comportamientos de los participantes. Éstos, al realizar sus estimaciones en la vida real, se alejarán de la valoración teórica de los lotes, debido a una variedad de circunstancias: situación particular de cada compañía en el momento de presentar a oferta, posible imprecisiones o errores humanos en la valoración, decisiones estratégicas, situación durante el proceso de la subasta, etc.

El modelado de comportamientos mediante distribuciones gaussianas es una práctica ampliamente utilizada tanto en el mundo real como en investigación, [55]. Las distribuciones normales aparecen de manera natural en numerosos fenómenos y sirven para aproximarlas con bastante precisión. También son técnicas comúnmente utilizadas en la simulación basada en agentes, y en trabajos que estudian el comportamiento en economía, mercados y finanzas [46].

Como resultado de la aplicación del modelo de asignación se ha obtenido, para cada una de las 50 repeticiones realizadas, el participante ganador y el precio de adjudicación de cada uno de los lotes, tanto para el caso de subasta combinatoria, como para el de subasta independiente de un lote.

8.2. Ruido gaussiano incluido en el modelo

En cada escenario escogido se realizan 50 simulaciones independientes, en las que a las valoraciones de los participantes se les aplica un factor de distorsión o ruido basada en una distribución gaussiana. Aplicar secuencias de distribuciones gaussianas independientes para

modificar las valoraciones y pujas de cada participante permite al estudio incluir un grado de incertidumbre, algo coherente con las subastas en el mundo real, y permite a su vez evaluar en conjunto los resultados ante múltiples combinaciones de valoraciones y pujas. La inclusión de este factor de ruido confiere de mayor robustez a las conclusiones que se desprenden del análisis de los resultados de las simulaciones.

La decisión respecto del rango de valores adoptado para el factor de ruido gaussiano se ha tomado en base a las experiencias en subastas reales así como en base a diversos análisis exploratorios previos. Se han ejecutado 50 simulaciones de subastas independientes de un lote, con rangos de valores del factor de ruido del $\pm 1\%$ y del $\pm 5\%$. Para realizar estas simulaciones exploratorias se ha tomado el Escenario 3.

Los resultados principales, han sido los siguientes:

- De manera sistemática, a mayor valor del factor de ruido, el importe final a pagar por la ANI se ha reducido, es decir ha habido una correlación lineal negativa. En la simulación con factor de ruido gaussiano del $\pm 5\%$, el precio final de adjudicación de los 9 lotes es un 7% inferior al importe de la simulación con factor de ruido $\pm 1\%$ (ver Tabla 8.1).

Tabla 8.1: Importe a pagar por la ANI en función del valor del factor ruido.

Valor factor ruido	Importe (<i>MUSD</i>)
$\pm 5\%$	2.280
$\pm 1\%$	2.432

Fuente: elaboración propia.

- Cuanto menor sea el factor de ruido, más probable será que el participante que más valore el lote sea el adjudicatario del mismo. En las Figuras 8.1 y 8.2 se representan las valoraciones de todos los participantes por el Lote 2.2, en la primera simulación del Escenario 3, y para factores de ruido del $\pm 1\%$ y del $\pm 5\%$, respectivamente. En color verde se ha destacado el participante que el modelo de asignación determina como ganador en esa primera simulación. Se aprecia que en el caso con factor de ruido del $\pm 1\%$ (Figura 8.1) el participante ganador coincide con el que más valora el lote (mayor valoración del lote resulta en un menor importe de valoración a efectos de realizar la

oferta). Sin embargo, en el caso con factor de ruido del $\pm 5\%$ (Figura 8.2) el participante ganador no siempre coincide con el que más valora el lote.

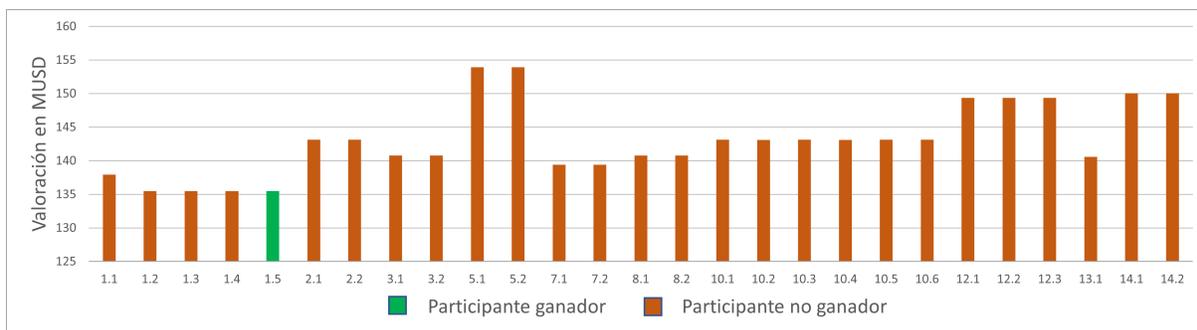


Figura 8.1: Ganador lote 2.2 con factor ruido del $\pm 1\%$
Fuente: elaboración propia.

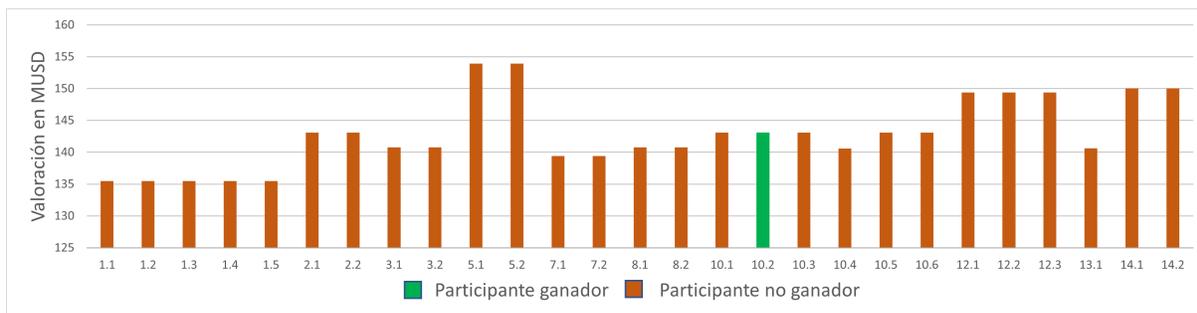


Figura 8.2: Ganador lote 2.2 con factor ruido del $\pm 5\%$
Fuente: elaboración propia.

Este análisis se ha repetido para el resto de lotes. En la Tabla 8.2 se aprecia que en las simulaciones realizadas con rango del factor de ruido del $\pm 1\%$, el participante adjudicatario es, para todos los lotes, aquel que más valora el lote, mientras que en la simulación con rango del $\pm 5\%$, no lo es para ninguno de ellos. Aunque a primera vista pudiera parecer más acertado el primer caso, realmente, como se verá en el Apartado 8.6, no concuerda con el caso real, en el que sólo en un 16% de las ocasiones resultó ganador el participante con mayor valoración. Tampoco parece ajustado al caso real el rango de $\pm 5\%$, al no adjudicar nunca al participante con mayor valoración.

Como se mencionó anteriormente, el factor de ruido introduce el concepto de incertidumbre sobre la valoración, y se utiliza para simular un comportamiento de los participantes más

Tabla 8.2: Participante con mejor valoración frente a participante adjudicatario.

Lote	Ruido $\pm 1\%$			Ruido $\pm 5\%$		
	Pmo	Pg	% diferencia valoraciones	Pmo	Pg	% diferencia valoraciones
2.1.	1.1	1.1	0%	1.5	10.4	6%
2.2.	1.5	1.5	0%	1.4	10.2	6%
2.3.	1.5	1.5	0%	5.2	14.2	3%
2.4.	13.1	13.1	0%	10.2	2.1	2%
2.5.	5.2	5.2	0%	14.2	5.1	0%
2.6.	7.1	7.1	0%	2.1	1.3	2%
2.7.	5.2	5.2	0%	2.1	7.2	1%
2.8.	5.1	5.1	0%	5.1	10.2	4%
2.9.	5.1	5.1	0%	5.1	10.4	3%

Fuente: elaboración propia.

Nomenclatura:

Pmo (participante con mejor oferta).

Pg (participante ganador).

semejante al que se produciría en el mundo real, y así poder obtener resultados más robustos frente a posibles desviaciones en los modelos de valoración. Los modelos de valoración, aunque sean muy avanzados, nunca coincidirán con la valoración exacta y real de los lotes para todos los participantes. En esto influyen variables muy diversas como la limitación en la información, la interacción de los participantes durante la subasta, el posicionamiento estratégico, la situación económico-financiera específica de cada empresa participante, factores circunstanciales o coyunturales de la empresa, etc.

Todas estas diferencias respecto de la valoración teórica, pueden derivar en que el modelo de asignación determine una puja superior o inferior, y esta diferencia será mayor cuanto mayor rango del factor de ruido se incluya en el modelo.

Dado que en este tipo de subasta los lotes se adjudican al participante que realice la puja más baja, es lógico que a un mayor valor del factor ruido, el descuento final total de los lotes adjudicados por el modelo de asignación sea mayor, puesto que el rango de pujas es más amplio.

Por el contrario, un valor de factor ruido bajo, que simula una incertidumbre menor, hará que la oferta que determina el modelo de asignación sea muy próxima a la que resulte de

su valoración teórica del lote. Esto explica que en el caso de valor del factor de ruido $\pm 1\%$, los participantes adjudicatarios coincidan con los que tienen mayor valoración de los lotes adjudicados.

Tras haber realizado estas simulaciones y análisis, se ha decidido establecer un valor intermedio del factor de ruido del $\pm 3\%$, para no obviar en la simulación el comportamiento real de las empresas, pero sin que el efecto sobre el resultado pueda resultar excesivo y alejado de la realidad.

8.3. Escenarios principales

Los escenarios principales analizados en este trabajo incluyen los siguientes:

■ **Escenario Base o Escenario 1**

En este escenario todas las variables tienen el mismo impacto, $I_v = 3\%$ para toda v . Es un escenario equilibrado, donde todas las variables tienen un impacto medio sobre la decisión de los participantes. Para establecer este valor se ha tenido en cuenta la experiencia del autor en el sector durante su vida profesional, así como los resultados de los procesos de subasta empíricamente realizados.

■ **Escenarios contruidos modificando variables relativas a los lotes**

En los siguientes dos escenarios se modifica el valor relativo de las variables cuyo incremento de valor tiene un efecto positivo para la valoración de los participantes constructores (I_1) frente al de las variables cuyo incremento de valor tiene un efecto negativo para ellos (I_2, I_3 y I_4).

- *Escenario 2*: el impacto de la inversión necesaria para construir un lote es menor que el del resto de variables: $I_1 = 1\%$ y $I_2 = I_3 = I_4 = 5\%$.
- *Escenario 3*: el impacto de la inversión necesaria para construir un lote es mayor que el del resto de variables: $I_1 = 5\%$ y $I_2 = I_3 = I_4 = 1\%$.

■ **Escenarios contruidos modificando variables relativas a los paquetes**

Se modifica el valor relativo del impacto de las variables que sólo afectan a lotes individuales (I_1, I_2, I_3 y I_4) frente a aquéllas que afectan a los paquetes (I_5 y I_6).

- *Escenario 4*: las variables que afectan las valoraciones de los paquetes tienen un impacto nulo: $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 3\%$ y $I_5 = I_6 = 0\%$.
- *Escenario 5*: sólo las variables que afectan la valoración de los paquetes tienen impacto sobre la oferta final: $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 0\%$ y $I_5 = I_6 = 3\%$.

En la Tabla 8.3 se muestra un resumen de los valores de I_v establecidos para los escenarios principales.

Tabla 8.3: Escenarios principales.

I_v	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
$I_1 (I)$	3%	1%	5%	3%	0%
$I_2 (D)$	3%	5%	1%	3%	0%
$I_3 (E)$	3%	5%	1%	3%	0%
$I_4 (E/I)$	3%	5%	1%	3%	0%
$I_5 (C)$	3%	3%	3%	0%	3%
$I_6 (OC)$	3%	3%	3%	0%	3%

Fuente: elaboración propia.

8.4. Escenarios extremos

Además de los escenarios principales, también se ha comprobado el resultado del modelo en el caso de que algunas variables específicas adopten un valor de impacto especialmente alto, que se ha fijado en $I_v = 12\%$. Para ello, partiendo del Escenario Base, se han analizado 4 escenarios adicionales:

- **Escenario 1a**: La inversión necesaria para desarrollar un lote tiene un efecto de $I_1 = 12\%$.
- **Escenario 1b**: Deuda y Capital tienen un efecto de $I_2 = I_3 = 12\%$.

- **Escenario 1c:** La existencia de lotes conexos en el mismo paquete tiene un impacto de $I_5 = 12\%$.
- **Escenario 1d:** Alcanzar la OC_i^* del participante tiene un efecto del $I_6 = 12\%$.

La Tabla 8.4 muestra los escenarios en los que se han probado valores extremos para variables especificadas.

Tabla 8.4: Escenarios extremos.

I_v	Escenario 1a	Escenario 1b	Escenario 1c	Escenario 1d
$I_1 (I)$	12%	3%	3%	3%
$I_2 (D)$	3%	12%	3%	3%
$I_3 (E)$	3%	12%	3%	3%
$I_4 (E/I)$	3%	3%	3%	3%
$I_5 (C)$	3%	3%	12%	3%
$I_6 (OC)$	3%	3%	3%	12%

Fuente: elaboración propia.

8.5. Desarrollo del Escenario Base

En este apartado se presenta en detalle la aplicación del modelo de asignación. Para hacerlo de una forma práctica, se explica paso a paso la resolución de la primera simulación de uno de los escenarios: el Escenario Base o Escenario 1. En este escenario los valores de los impactos de cada una de las variables tienen un valor igual al 3%.

Al tratarse éste de un caso experimental, se considera que todos los participantes de la segunda ola 4G (ver Tabla 6.4) podrán realizar libremente sus ofertas por cada uno de los lotes, a diferencia del Apartado 8.6, donde se incluyeron sólo los que realmente ofertaron.

Como primer paso, se ha aplicado la Ecuación (7.2) para determinar el valor que cada lote, de forma individual, tiene para cada uno de los 27 posibles participantes. Posteriormente se han incluido en la valoración la conectividad y la capacidad óptima. Como ejemplo la Tabla 8.5 muestra el valor de cada uno de los lotes para un participante del tipo 1.

Tabla 8.5: Valores de $V_{1,j}$ del Participante 1 para el Escenario Base.

Lote	VB_j^A	$\gamma_{1,j} = (1 + \sum_{v=1}^6 (I_v \beta_{v,j} W_{v,1}))$	$V_{1,j} (MUSD)$
2.1.	87	106,9%	82
2.2.	139	101,2%	137
2.3.	332	94,1%	353
2.4.	255	100,1%	255
2.5.	274	94,9%	289
2.6.	377	101,7%	371
2.7.	269	100,1%	269
2.8.	389	92,2%	422
2.9.	399	98,7%	404

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

A continuación se ha determinado el valor que para cada participante tiene cada uno de los posibles paquetes o combinaciones de lotes. Para realizar estas valoraciones, se ha incluido el impacto de la conectividad y de la capacidad óptima, aplicando la Ecuación (7.12). Como se ha indicado en el Apartado 7.5, los paquetes tienen un tamaño máximo de 3 lotes, por lo que hay un total de 130 valoraciones posibles para cada participante, que corresponden a todas las posibles combinaciones de 1, 2 o 3 lotes. A modo de ejemplo, en la Tabla 8.6 se presenta la valoración $O_{1,S'}$, siendo S' todas las posibles combinaciones formadas con los tres primeros lotes: 2.1, 2.2 y 2.3.

Tabla 8.6: Valores de $O_{1,S'}$.

Paquete	$O_{1,S'} (MUSD)$
2.1.	392
2.2.	409
2.1. y 2.2	814
2.3.	261
2.1. y 2.3	662
2.2. y 2.3	680
2.1., 2.2. y 2.3	1.095

Fuente: elaboración propia.

Tras calcular las 130 valoraciones de cada participante (3510 valoraciones), se aplica el modelo de asignación, que resuelve, tanto las subastas independientes de un lote, como el WDP de las subastas combinatorias explicado en el Capítulo 8. Como se ha indicado en el Apartado 8.1 se han realizado 50 repeticiones por escenario. En cada una de las repeticiones se ha incluido sobre las valoraciones el factor de ruido gaussiano explicado en el Apartado 8.2.

Como resultado final, se ha obtenido, para cada una de las 50 simulaciones, el participante ganador y el precio de adjudicación de cada uno de los lotes, tanto para el modelo de subasta independiente de un lote, como para el de subasta combinatoria.

A modo de ejemplo, en las Tablas 8.7 y 8.8 se muestran los resultados obtenidos en la primera simulación del Escenario Base, para una subasta independiente de un lote y para una subasta combinatoria. Se han destacado en negrita los participantes ganadores que alcanzan su OC_i^* .

Tabla 8.7: Escenario Base: Subastas independientes de un lote.

Lote	Participante ganador	OC^*	Precio de adjudicación (MUSD)	VB^{ANI} (MUSD)	% descuento
2.1	10.4	2	77	102	24 %
2.2	10.2	2	129	162	20 %
2.3	5.2	3	310	388	20 %
2.4	2.1	2	236	298	21 %
2.5	7.1	1	256	320	20 %
2.6	1.3	3	328	441	26 %
2.7	1.3	3	253	314	19 %
2.8	14.2	3	342	455	25 %
2.9	1.5	1	361	466	23 %
Suma			2.293	2.974	
Media					22 %

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

Tabla 8.8: Resultado de la primera repetición del Escenario Base. Subasta combinatoria

Lote	Participante ganador	OC^*	Precio de adjudicación (MUSD)	VB^{ANI} (MUSD)	% descuento
2.1, 2.3 y 2.5	12.3	3	605	810	25 %
2.2	10.2	2	129	162	20 %
2.4 y 2.7	10.5	2	458	613	25 %
2.6, 2.8 y 2.9	14.1	3	989	1.363	27 %
Suma			2.181	2.947	
Media					26 %

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

Como conclusiones preliminares de los resultados de esta simulación y escenario particular, se puede indicar lo siguiente:

- **Descuento alcanzado.** La subasta combinatoria supone para el gobierno colombiano

un ahorro del 4 %.

- **Asignación de lotes conexos.** En las subastas independientes de un lote, los lotes conexos 2.6 y 2.9 se adjudican a participantes distintos, por lo se pierden las ventajas derivadas de la conectividad. Por el contrario, En la subasta combinatoria, los lotes se adjudican a un mismo participante.
- **Consecución de la OC_i^* por los ganadores.** En la subasta combinatoria, tres de los 4 participantes (los de las categorías 10, 12, y 14) alcanzan su OC_i^* , de 2, 3, y 3 lotes respectivamente, mientras que el otro alcanza el 50 % de su OC_i^* . Por contra, en las subastas independientes de un lote, sólo 2 de los 8 ganadores alcanzan su OC_i^* , perteneciendo además éstos a las categorías 1 y 7, cuya OC^* es 1. El resto de participantes adjudicatarios, con OC_i^* superiores a 1, no la alcanzan, quedándose de media en el 46 % de la misma.
- **Tamaño de paquetes adjudicados.** En la subasta combinatoria, los participantes ganadores se adjudican de media de 2,25 lotes por participante, mientras que en las subastas independientes de un lote, la cantidad disminuye a 1,13 lotes.
- **OC^* media de los ganadores.** Mientras que en la subasta combinatoria, la OC^* media de los adjudicatarios es de 2,50 lotes, en las subastas independientes de un lote, este resultado es de 2,13 lotes. Si se contrastan estos datos con los anteriormente mencionados de asignación de paquetes media, de 2,25 lotes para la subasta combinatoria y 1,1 lotes para la independiente de un lote, se pone de manifiesto claramente que en la subasta combinatoria los participantes quedan mucho más cercanos a su OC_i^* que en las independientes de un lote.
- **Tamaño de los participantes ganadores.** En el caso de las subastas independientes de un lote, el 62,5 % de los ganadores es de tamaño muy grande, el 25 % mediano, y el 12,5 % restante es pequeño, mientras que en la subasta combinatoria, todos los adjudicatarios son de tamaño muy grande.

En el Capítulo 9 se analizarán extensamente los resultados de cada uno de los escenarios

definidos.

En el siguiente apartado, se realiza un contraste de validez del modelo con respecto de los resultados reales de las subastas.

8.6. Contraste de validez del modelo: aplicación al caso real

Con la finalidad de contrastar la robustez y coherencia del modelo construido, y dado que se tienen los resultados reales de las subastas en las que se adjudicó la segunda ola de los lotes 4G, se ha procedido a ejecutar el modelo con los datos de los participantes reales, y ha contrastar los resultados así obtenidos, con los reales.

Se han tomado los datos de la serie de subastas que culminaron entre los meses de abril y agosto del año 2015 (ver Tabla 5.7). Se ha aplicado el modelo de valoración para calcular el valor teórico de los lotes, para los participantes de las subastas reales. Para ello, se caracterizó a estos participantes, según las diferentes categorías definidas. Con el objetivo de simular al máximo el caso real, para el cálculo del impacto de las variables OC y C se ha tenido en cuenta el dato real de adjudicaciones previas de cada participante, incluyendo a estos efectos no sólo las de la segunda ola, sino también las de la primera ola 4G, dada la cercanía temporal entre las dos.

Es importante destacar que el objetivo de este contraste no es el de acertar con precisión el descuento que realmente realizó cada participante, ni obtener el resultado de las adjudicaciones, sino determinar hasta que punto el modelo de valoración tiene validez y puede ser utilizado para las investigaciones objeto de este trabajo, así como para otras que se puedan desarrollar en el futuro.

En la Figura 8.3 se muestra el proceso que se ha seguido, que se analiza paso a paso en

los siguientes puntos.



Figura 8.3: Etapas para contraste del modelo con el resultado real.

Fuente: elaboración propia.

■ **Caracterización de los participantes reales que ofertaron en cada proceso**

Se ha realizado una profunda investigación de las empresas que participaron en las subastas de los lotes de la segunda ola 4G en Colombia.

En seis de las nueve subastas, la administración colombiana decidió realizar un proceso previo de precalificación¹, mientras que en las otras tres, la participación fue libre. En el primer caso, se considera como participantes en cada subasta a los que resultaron precalificados para ella, independientemente de que finalmente presentasen o no oferta, y en el segundo caso, a los que realmente enviaron sus ofertas. De esta forma, sólo se está teniendo en cuenta a los participantes que realizaron estudios en profundidad de cada uno de los procesos de subastas.

Posteriormente, se ha clasificado a los participantes según lo indicado en el Apartado 6.1, esto es: nacionalidad, tamaño y tipo de actividad.

Por último, se ha investigado el número de adjudicaciones previas que había obtenido cada uno antes de la presentación de las ofertas. Dentro de éstas, se han incluido además de las adjudicaciones de lotes de la segunda ola, las que obtuvieron en la primera ola de las 4G², ya que gran parte de los participantes realizaron ofertas por lotes de ambas olas.

Las adjudicaciones de la primera ola se produjeron durante el año 2014, sólo un año

¹No se considera relevante la inclusión en este trabajo de las razones por las que la administración pueda decidir realizar o no una precalificación.

²Por esta razón se verá que en la subasta del lote 2.6 hay dos participantes con adjudicaciones previas de lotes conexos, lo que sería imposible si sólo se hubiera considerado la segunda ola.

antes de las de la segunda, por lo que son relevantes para el cálculo de la conectividad y capacidad óptima.

Los datos obtenidos para cada uno de los 9 lotes se muestran sucesivamente en las Tablas 8.9 a 8.17.

Tabla 8.9: Participantes en la subasta real del lote 2.1.

Nº participante	Categoría	OC*	Nº adj. previas	Conectadas con lote 2.1 (0=no; 1=si)	Realizan oferta (0=no; 1=si)
1	4	3	0	0	1
2	10	1	0	0	0
3	8	3	0	0	1
4	12	2	0	0	0
5	7	1	0	0	0
6	10	1	1	0	0
7	14	3	0	0	0
8	2	2	1	1	1
9	1	1	0	0	0
10	2	2	0	0	1

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

Tabla 8.10: Participantes en la subasta real del lote 2.2.

Nº participante	Categoría	OC*	Nº adj. previas	Conectadas con lote 2.2 (0=no; 1=si)	Realizan oferta (0=no; 1=si)
1	2	2	0	0	1
2	1	1	0	0	1
3	1	1	0	0	1
4	1	1	0	0	1
5	5	3	0	0	1
6	1	1	0	0	1
7	2	2	1	0	1

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

- **Cálculo de la valoración de cada participante para cada uno de los lotes**

Con los datos anteriores, se ha procedido a aplicar el modelo de valoración a cada uno de los participantes, para cada uno de los lotes. Se ha realizado el cálculo para todos los escenarios indicados en las Tablas 8.3 y 8.4.

- **Contraste de resultados reales**

Una vez obtenidas las valoraciones, se realiza un contraste de las mismas con los resultados reales de cada una de las subastas, analizando la relación entre la valoración

Tabla 8.11: Participantes en la subasta real del lote 2.3.

Nº participante	Categoría	OC*	Nº adj. previas	Conectadas con lote 2.3 (0=no; 1=si)	Realizan oferta (0=no; 1=si)
1	10	1	0	0	0
2	4	3	0	0	1
3	2	2	3	0	0
4	5	3	2	0	1
5	14	3	0	0	0
6	8	3	1	0	1
7	7	1	0	0	0
8	10	1	1	0	1
9	8	3	1	0	1
10	13	2	0	0	1

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

Tabla 8.12: Participantes en la subasta real del lote 2.4.

Nº participante	Categoría	OC*	Nº adj. previas	Conectadas con lote 2.4 (0=no; 1=si)	Realizan oferta (0=no; 1=si)
1	4	3	0	0	1
2	10	1	0	0	0
3	10	1	0	0	0
4	14	3	0	0	0
5	8	3	1	0	0
6	3	2	1	0	0
7	8	3	1	0	0
8	12	2	0	0	0
9	7	1	0	0	0
10	13	2	0	0	1

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

Tabla 8.13: Participantes en la subasta real del lote 2.5.

Nº participante	Categoría	OC*	Nº adj. previas	Conectadas con lote 2.5 (0=no; 1=si)	Realizan oferta (0=no; 1=si)
1	10	1	0	0	0
2	14	3	0	0	0
3	10	1	0	0	0
4	2	2	0	0	1
5	3	2	1	0	0
6	12	2	0	0	0
7	8	3	1	0	0
8	2	2	2	0	1
9	7	1	0	0	0
10	12	1	0	0	0

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

de cada lote por cada participante, y el resultado de la subasta. Se ha realizado, para todas las hipótesis, un análisis basado en las 3 comprobaciones siguientes:

Tabla 8.14: Participantes en la subasta real del lote 2.6.

Nº participante	Categoría	OC*	Nº adj. previas	Conectadas con lote 2.6 (0=no; 1=si)	Realizan oferta (0=no; 1=si)
1	3	2	1	1	0
2	10	1	0	0	1
3	8	3	1	0	0
4	12	2	0	0	1
5	10	1	1	0	0
6	10	1	0	0	0
7	14	3	0	0	0
8	12	2	1	0	1
9	8	3	3	0	0
10	5	3	0	1	0

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

Tabla 8.15: Participantes en la subasta real del lote 2.7.

Nº participante	Categoría	OC*	Nº adj. previas	Conectadas con lote 2.7 (0=no; 1=si)	Realizan oferta (0=no; 1=si)
1	4	3	1	1	1
2	8	3	2	0	1
3	12	2	0	0	1

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

Tabla 8.16: Participantes en la subasta real del lote 2.8.

Nº participante	Categoría	OC*	Nº adj. previas	Conectadas con lote 2.8 (0=no; 1=si)	Realizan oferta (0=no; 1=si)
1	3	2	1	0	0
2	8	3	2	0	1
3	8	3	1	0	1
4	12	2	0	0	0
5	4	3	1	0	1
6	10	1	0	0	0
7	10	3	1	0	1
8	3	2	3	0	0
9	10	1	0	0	0
10	7	1	0	0	0

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

Tabla 8.17: Participantes en la subasta real del lote 2.9.

Nº participante	Categoría	OC*	Nº adj. previas	Conectadas con lote 2.9 (0=no; 1=si)	Realizan oferta (0=no; 1=si)
1	14	3	0	0	1
2	12	2	1	0	1
3	4	3	1	0	1

Fuente: elaboración propia basada en información de ANI [2].

- *Análisis A.* Se calcula el porcentaje de ocasiones en las que resultó ganador del lote un participante para el que ese lote tenía una valoración mayor que la neutra, por lo que su oferta teórica sería más agresiva (menor) que el VB_j^A .
- *Análisis B.* Comprobación de si se cumple que el valor usado para ajustar VB_j^A y obtener la valoración del participante ($\Omega_{i,S}$), es mayor en los participantes ganadores, que la media de los valores de la totalidad de los participantes en la subasta. El cumplimiento de esta condición implica que, los participantes ganadores, por la combinación de sus propias características y de las del lote subastado, tienen, de media, una mayor valoración del lote que la media de la totalidad de los participantes en la subasta. Se expresa con la Ecuación (8.1), donde S es el conjunto de los 9 lotes de la segunda ola de las 4G.

$$\Omega_{(medio.ganadores,S)} > \Omega_{(medio.participantes,S)} \quad (8.1)$$

- *Análisis C.* Porcentaje de las ocasiones en las que resultó ganador del lote el participante, de entre los que precalificaron u ofertaron para el mismo, para el cual el lote subastado tenía la mayor valoración.

Los resultados de los análisis se pueden ver en la Tabla 8.18.

Tabla 8.18: Resultados del análisis de contraste del modelo con el caso real.

Escenario	Análisis		
	A	B	C
1	77,78 %	si	22,22 %
2	77,78 %	si	22,22 %
3	88,89 %	si	11,11 %
4	66,67 %	si	11,11 %
5	66,67 %	si	11,11 %
1a	66,67 %	si	11,11 %
1b	77,78 %	si	22,22 %
1c	77,78 %	si	22,22 %
1d	100 %	si	11,11 %
Media	77,78 %		16,05 %

Fuente: elaboración propia.

■ **Análisis de resultados y conclusiones**

- *Respecto del análisis A*, se observa que se cumple en un porcentaje superior al 66 %, en todos los escenarios. Esto indica que este modelo tiene la robustez necesaria para el objetivo de este trabajo, ya que pondera de forma acertada la valoración de los participantes que tienen mayor afinidad por un determinado lote.
- *Respecto del Análisis B*, se observa, en todos los escenarios, que la valoración media de los participantes que ganaron los lotes, es superior a la media de la de los que presentaron oferta por ellos. Este es otro dato que corrobora la validez del modelo de valoración, y en particular de las variables elegidas para caracterizar lotes y clasificar participantes.
- *Respecto del Análisis C*, se puede ver claramente que los porcentajes son muy bajos para todos los escenarios. Los participantes ganadores fueron en muy escasas ocasiones los que mayor valor teórico daban al lote subastado. De este resultado se pueden obtener las siguientes conclusiones:
 - La subastas reales llevadas a cabo no fueron subastas eficientes, ya que no adjudicaron los lotes al participante para el que mayor valor tenían.
 - Los participantes ganadores no eran los más preparados para desarrollar los lotes que les fueron asignados, ya que no eran los que más valoraban esos lotes. Esto indica que sus características y capacidades no eran las óptimas.
 - La administración tuvo que pagar para el desarrollo de los lotes importes mayores de los que hubiera abonado si se hubiera realizado una subasta óptima o más eficiente.

Los resultados obtenidos, indican que el modelo de subasta utilizado dio lugar a que la administración perdiera en el proceso a potenciales participantes, que tenían una valoración de los lotes mas elevada, y por lo tanto se viera perjudicada, al tener que adjudicar los lotes a participantes que los valoraban menos. De igual forma se vieron perjudicados los participantes que, derivado de la ineficiencia de la subasta realizada, no pudieron expresar adecuadamente en sus ofertas su valoración real por los lotes.

Los procesos de licitación de los lotes que comprenden las dos primeras olas de las autopista 4G de Colombia, se realizó mediante una serie de subastas independientes,

durante un periodo de tiempo de aproximadamente tres años. Esto pudo provocar que un mismo participante obtuviera adjudicaciones en las primeras subastas, alcanzando ya su OC_i^* , y por tanto reduciendo su interés por las subastas de los sucesivos lotes.

Como ejemplo, este pudo ser el caso del consorcio de las constructoras Mario Huertas con Constructora Meco, que ganaron tres lotes de los cinco primeros que se licitaron en la primera ola 4G (lote “Honda - Puerto Salgar - Girardot”; lote “Autopista Conexión Pacífico 3”; y lote “Cartagena - Barranquilla y Circunvalar de la Prosperidad”) entre los meses de abril y mayo de 2014. Estas adjudicaciones probablemente limitaron su capacidad para realizar ofertas sobre sucesivos lotes. De hecho, no realizó ninguna nueva oferta en el resto de subastas. Si esta suposición fuera cierta, se habría reducido la competencia para las subastas del resto de lotes que, como agravante adicional, podrían haber sido más adecuados para este consorcio en particular, dadas sus características.

Adicionalmente, y como se ha comentado previamente, las subastas independientes de un lote no permiten a los participantes incluir, dentro de su valoración, las sinergias derivadas de poder ganar conjuntamente varios lotes, al asegurarse alcanzar su OC_i^* .

En las subastas independientes también existen limitaciones respecto de la capacidad de maximizar la valoración de lotes conexos. Las sinergias derivadas de la conectividad sólo podrán ser aprovechadas por los participantes que hayan obtenido adjudicaciones previas, y no por el resto. En este sentido, es destacable el hecho de que, en la subasta real realizada, no se adjudicó a un mismo participante ninguno de los dos pares de lotes conexos de la segunda ola 4G.

Los participantes en procesos de subastas de APP tienen una capacidad limitada para estudiar lotes y realizar ofertas, ya que los estudios necesarios para ofertar los lotes son caros y complejos. Al realizarse las subastas independientemente, los participantes se vieron obligados a tomar decisiones, en un entorno de alta incertidumbre, sobre qué lotes estudiaban y cuáles no. Un error en esta decisión, o el hecho de no haber obtenido adjudicaciones tras haber realizado el esfuerzo de presentar varias ofertas, pudo provocar un efecto de desgaste en

los participantes, que les llevase a no estudiar las siguientes subastas. Esto provoca también una reducción en la competencia por los lotes.

Los resultados anteriores concuerdan con la hipótesis de que una subasta combinatoria podría resultar óptima y por lo tanto beneficiosa para la administración, y llevarle a pagar menos por la ejecución y mantenimiento de sus infraestructuras, resultando a la vez eficiente para los participantes, que podrán ajustar más sus ofertas por los lotes que tengan mayor valor para ellos.

En el siguiente capítulo se resumen los resultados de la simulación de los modelos en cada uno de los escenarios, tanto para un serie de subastas independientes de un lote, como para una única subasta combinatoria, y se realiza una análisis comparativo entre ambos bajo los distintos escenarios.

Capítulo 9

Análisis de Resultados

Siguiendo la metodología descrita, se han ejecutado 50 simulaciones para cada uno de los escenarios, incluyendo en ellas el factor de distorsión o ruido gaussiano. En cada repetición se han generado las ofertas de cada uno de los participantes para cada lote, y se han obtenido los participantes ganadores de cada uno de ellos y los precios de adjudicación.

En este capítulo se analizan y comparan en detalle los resultados de cada escenario, mientras que en el siguiente capítulo se abordará de forma global.

Se ha estructurado el capítulo de la siguiente forma.

- En el *Apartado 9.1* se presenta e detalle el Escenario Base. Primero se analizan los resultados medios de las 50 repeticiones realizadas, estableciendo la estructura de análisis que se repetirá para el resto de los escenarios.

Sobre este escenario se ha realizado un análisis adicional. Se ha obtenido y comparado entre sí la tipología de adjudicatarios que resulta de cada uno de los tipos de subasta.

- El *Apartado 9.2* se exponen los resultados del resto de los escenarios principales, siguiendo la estructura de análisis definida, y comparando las diferencias de cada uno de ellos con el Escenario Base.

- El *Apartado 9.3* se realiza el mismo ejercicio con los escenarios extremos.

9.1. Análisis del Escenario Base

9.1.1. Escenario Base: resultados

En este subapartado, se muestran los resultados del Escenario Base, considerando para ello los valores medios de los resultados de las 50 simulaciones ejecutadas, comparando los resultados obtenidos bajo subasta independiente de un lote con los de una subasta combinatoria. El análisis se realizará de forma estructurada, a través de la revisión de los siguientes aspectos clave:

1. Precio final total a pagar por la ANI.
2. Asignación de lotes conexos.
3. Alcance de la OC_i^* por los participantes ganadores.
4. Tamaño de los paquetes¹ adjudicados.
5. Tipología de participantes ganadores.

En los Apartados 9.2 y 9.3 se realiza el mismo análisis respecto del resto del escenarios.

Para no resultar repetitivos, se realiza un análisis más extenso para este Escenario Base, mientras que en el resto de escenarios se indican los resultados, y el análisis se centra en destacar las diferencias principales con el Escenario Base. Para facilitar la comparativa,

¹Para mayor claridad, se usa de forma genérica el término paquete cuando un mismo participante resulte ganador de más de un lote, pese a que en la subasta independiente de un lote esto no es exacto, pues la adjudicación de más de un lote a un mismo participante deriva de que éste gane de más de un lote en el trascurso de varias subastas individuales.

en todas las tablas, junto a los resultados de cada escenario, se repiten los resultados del Escenario Base.

Como se ha indicado en el Capítulo 8.1, en este escenario, que también se ha denominado como Escenario 1 (E1), todas las variables tienen el mismo impacto, $I_v = 3\%$ para toda v .

1. Precio final total a pagar por la ANI

En la Tabla 9.1 se puede ver que el precio total a pagar por la ANI, al conjunto de los participantes ganadores de los 9 lotes, es 117 *MUSD* superior en el caso de las subastas independientes de un lote, respecto del de la subasta combinatoria. Esto supone un 5,1% de diferencia.

Si se comparan los resultados respecto del Valor Base ANI (VB^{ANI}), el mecanismo combinatorio produce un 26% de descuento respecto del mismo. El descuento promedio obtenido en el proceso real fue 17%, por tanto, se obtiene un descuento adicional del 9%.

Tabla 9.1: Escenario Base: precio final total a pagar por la ANI.

Tipo de subasta	Importe (<i>MUSD</i>)	VB^{ANI} (<i>MUSD</i>)	%Descuento
Independiente	2.300	2.974	23%
Combinatoria	2.184	2.974	26%
Diferencia	117 (5,1%)		

Fuente: elaboración propia.

2. Asignación de lotes conexos

Respecto de la asignación de lotes conexos, en la Tabla 9.2 se aprecia que la subasta combinatoria favorece, claramente, la adjudicación los lotes conexos en un mismo paquete. En un 98% de las repeticiones, se adjudican conjuntamente alguna de las dos parejas de lotes conexos, mientras que en las subastas independientes esto sólo sucede en un 2% de las ocasiones.

Como ya se ha indicado, esto beneficiará a los adjudicatarios, que podrán beneficiarse de economías de escala, y aprovechar las sinergias inherentes.

Tabla 9.2: Escenario Base: % repeticiones en las que lotes conexos se adjudican a un mismo participante.

Tipo de subasta	Lotes 2.2 y 2.3	Lotes 2.6 y 2.9	Lotes 2.2 y 2.3 o lotes 2.6 y 2.9
Independiente	0 %	2 %	2 %
Combinatoria	66 %	86 %	98 %

Fuente: elaboración propia.

3. Alcance de la OC_i^* por los participantes ganadores

En la Tabla 9.3 se observa que, en las subastas independiente de un lote, sólo un 33 % de los ganadores alcanzan su OC_i^* . esto implica que un 67 % de los ganadores tendrán que afrontar la ejecución de los contratos, habiendo sido adjudicatarios de un paquete que no está alineado con sus capacidades y intereses.

Por el contrario, en la subasta combinatoria, el porcentaje de participantes que alcanzan su OC_i^* asciende hasta el 74 %. De forma similar al apartado anterior, esto genera un beneficio, tanto para los participantes adjudicatarios que hayan alcanzado su OC_i^* , como para la administración, que habrá adjudicado los contratos a empresas bien dimensionadas para llevarlos a cabo, viendo consecuentemente reducida la probabilidad de fracaso de los proyectos.

Tabla 9.3: Escenario Base: alcance OC_i^* por participantes ganadores.

Tipo de subasta	% de ganadores alcanzan su OC_i^*
Independiente	33 %
Combinatoria	74 %

Fuente: elaboración propia.

4. Tamaño de los paquetes adjudicados

En la Tabla 9.4 se ha indicado el número de ganadores promedio, por tipo de subasta, así como el tamaño medio de los paquetes adjudicados.

En la subasta independiente de un lote hay 7,5 ganadores diferentes de media, mientras que en la subasta combinatoria este número se ve reducido hasta los 3,9 ganadores diferentes, debido a la mayor concentración de adjudicaciones a un mismo participante.

Tabla 9.4: Escenario Base: tamaño de los paquetes adjudicados.

Tipo de subasta	Nº ganadores medio	% ganadores obtienen 1 lote	% ganadores obtienen 2 lotes	% ganadores obtienen 3 lotes
Independiente	7,5	82 %	18 %	0 %
Combinatoria	3,9	21 %	21 %	58 %

Fuente: elaboración propia.

Este resultado es perfectamente coherente con las diferencias entre los dos tipos de subasta.

En relación con el tamaño de los paquetes adjudicados, en las subastas independientes de un lote, el 82 % de los participantes ganadores obtuvieron 1 único lote, mientras que ninguno obtuvo 3 lotes. En la subasta combinatoria, por el contrario, fueron mayoría los que obtuvieron 3 lotes (un 58 %).

Viendo estos dos resultados en conjunto, queda constatado que la subasta combinatoria, al permitir que los participantes expresen su interés por los paquetes que más se adaptan a capacidades, favorece las adjudicaciones múltiples, aún sin excluir las adjudicaciones de lotes individuales.

5. Tipología de participantes ganadores

En este punto, se analizan las características de los participantes ganadores, tanto la OC_i^* (9.5), como su tamaño (9.6) y el tipo de actividad al que se dedican prioritariamente (9.7).

Tabla 9.5: Escenario Base: OC_i^* de los participantes ganadores.

Tipo de subasta	% ganadores $OC_i^* = 1$	% ganadores $OC_i^* = 2$	% ganadores $OC_i^* = 3$
Independiente	39 %	26 %	36 %
Combinatoria	4 %	21 %	74 %

Fuente: elaboración propia.

En relación a la capacidad óptima, la subasta independiente de un lote reparte de forma homogénea las asignaciones entre las tres tipologías de participante, priorizando ligeramente a los de $OC_i^* = 1$, con un 39 %. En el caso de la subasta combinatoria, los participantes con $OC_i^* = 3$ se ven claramente favorecidos, con un 74 %.

Tabla 9.6: Escenario Base: tamaño de los participantes ganadores.

Tipo de subasta	% ganadores pequeño y medio	% ganadores grande	% ganadores muy grande
Independiente	42 %	10 %	48 %
Combinatoria	11 %	4 %	85 %

Fuente: elaboración propia.

En relación al tamaño de los participantes, en la subasta independiente de un lote se reparte el 90 % de las adjudicaciones entre los participantes con $OC_i^* = 1$ y $OC_i^* = 3$, casi equitativamente. En el caso de la subasta combinatoria, las adjudicaciones se concentran en consorcios con tamaño muy grande, con un 85 %.

En relación al tipo de actividad a la que se dedican los ganadores, en la subasta independiente de un lote las adjudicaciones está muy concentradas en los participantes del tipo constructor, con un 82 %. La subasta combinatoria sin embargo, resulta en una asignación más equilibrada entre participantes constructores y los tipo inversor o mixto.

Tabla 9.7: Escenario Base: tipo de actividad de los participantes ganadores.

Tipo de subasta	% ganadores constructor	% ganadores mixto e inversor
Independiente	82 %	18 %
Combinatoria	52 %	48 %

Fuente: elaboración propia.

De forma global al respecto de la tipología de los participantes ganadores, se observa que, en este escenario, las subastas independientes de un lote tienden a asignar los lotes a participantes de tipo constructor, y tamaño pequeño o muy grande, mientras que la combinatoria tiende a adjudicar de una forma repartida entre el tipo constructor y los tipo inversor o mixto, aunque focalizando las adjudicaciones en los participantes de tamaño muy grande.

9.1.2. Escenario Base: Tipología de ganadores lote a lote

Para el Escenario Base, se ha realizado un análisis adicional respecto de la tipología de los adjudicatarios de cada lote, explicando las diferencias entre los resultados de la subasta

independiente de un lote y la combinatoria. Este análisis no se ha repetido para el resto de escenarios, pues el principal objetivo de este trabajo es el de analizar y buscar la optimización del conjunto de lotes APP que se subastan, y no el de cada uno de ellos.

En la Tabla 9.8 se detalla, para cada uno de los lotes, el porcentaje de ganadores de tipo constructor frente al porcentaje de ganadores de tipo inversor y mixto, mientras que en la Tabla 9.9 se expresa el porcentaje de ganadores de tamaño pequeño y medio frente al porcentaje de ganadores de tipo tamaño grande y muy grande.

Tabla 9.8: Escenario Base: tipología de los ganadores de cada lote.

Lote	Independiente		Combinatoria	
	% ganadores constructor	% ganadores inversor y mixto	% ganadores constructor	% ganadores inversor y mixto
2.1	100 %	0 %	68 %	32 %
2.2	100 %	0 %	48 %	52 %
2.3	66 %	34 %	36 %	64 %
2.4	94 %	6 %	46 %	54 %
2.5	40 %	60 %	32 %	68 %
2.6	88 %	12 %	64 %	36 %
2.7	88 %	12 %	64 %	36 %
2.8	32 %	68 %	26 %	74 %
2.9	84 %	16 %	58 %	42 %
Media	77 %	33 %	49 %	51 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.9: Escenario Base: tamaño de los ganadores de cada lote.

Lote	Independiente		Combinatoria	
	% ganadores pequeño y medio	% ganadores grande y muy grande	% ganadores pequeño y medio	% ganadores grande y muy grande
2.1	90 %	10 %	50 %	50 %
2.2	80 %	20 %	14 %	86 %
2.3	4 %	96 %	0 %	100 %
2.4	46 %	54 %	8 %	92 %
2.5	14 %	86 %	6 %	94 %
2.6	54 %	46 %	8 %	92 %
2.7	44 %	56 %	14 %	86 %
2.8	0 %	100 %	0 %	100 %
2.9	36 %	64 %	8 %	92 %
Media	41 %	59 %	12 %	88 %

Fuente: elaboración propia.

En primer lugar se hace un análisis individual de los lotes 2.1 y 2.2, y posteriormente haremos reflexiones más generales.

Los lotes 2.1 y 2.2, son los de menor tamaño de la segunda ola. Se puede apreciar que, en la subasta independiente de un lote, son adjudicados en el 100 % de las ocasiones a participantes de tipo constructor, y en un porcentaje muy elevado de las ocasiones a participantes de tamaños pequeño y mediano. Esto es debido a que sus características desincentivan a participantes de otra tipología y tamaño mayor a realizar sus ofertas por estos lotes, con lo que se verá reducida la competencia por ellos.

Sin embargo, en la subasta combinatoria, el resultado obtenido es mucho más equilibrado, ya que los lotes 2.1 y 2.2 se adjudican a participantes de tipo inversor y mixto en un 32 % y 52 % de las ocasiones respectivamente. En lo que respecta al tamaño de los ganadores, en el caso del lote 2.1 en el 50 % de las ocasiones serán de tamaño grande o muy grande, y el 2.2 el número se incrementa hasta el 86 %. Esto es debido a que en la subasta combinatoria, al favorecerse la adjudicación de paquetes conformados por varios lotes, participantes de mayor tamaño, que a priori no estarían interesados por estos dos lotes independientes, ahora si lo estarán, ya que podrán incluirlos dentro de los paquetes por los que realizan sus pujas. En el caso del lote 2.2, el efecto se acentúa aún más, al ser este un lote conexo con el 2.3, por lo que la subasta combinatoria favorecerá la adjudicación conjunta de los dos lotes.

Este análisis lote a lote pone de manifiesto que la subasta independiente, debido a sus características, concentra mucho las adjudicaciones en un mismo tipo de participante, el constructor, que en 7 de los 9 lotes resulta adjudicatario de las subastas en un % de las repeticiones muy elevado. Sin embargo la subasta combinatoria reparte las adjudicaciones entre constructores, que ganan la mayoría de las repeticiones en 4 de los 9 lotes, e inversores y mixtos, que ganan en 5 de los 9.

Los anteriores resultados darán como resultado que los participantes del tipo inversor y mixto y tamaños grandes, estén más interesados en presentar sus ofertas por los mencionados lotes, incrementando la competencia por ellos, que en caso contrario quedaría restringida a participantes de tamaño pequeño y tipo constructor.

Por el contrario, las subastas combinatorias resultan mayoritariamente en la adjudicación

de los lotes a participantes del tipo grande o muy grande.

9.2. Escenarios principales: resultados por escenario

A continuación se muestran los resultados obtenidos tras las simulaciones realizadas en el resto de los escenarios principales, revisando los puntos indicados en el Subapartado 9.1.1.

9.2.1. Escenario 2

En este escenario, el impacto de la inversión necesaria para construir un lote es menor que el del resto de variables: $I_1 = 1\%$ y $I_2 = I_3 = I_4 = 5\%$. El impacto de las variables I_5 e I_6 no cambia respecto del Escenario Base.

En la Tabla 9.10 se presentan los resultados del precio final total a pagar por la ANI, la asignación de lotes conexos y el alcance de la OC_i^* por los participantes ganadores, y se comparan con Escenario Base (E1).

En la Tabla 9.11 se pueden ver los resultados en relación a el tamaño de los paquetes adjudicados y finalmente, en la Tabla 9.12, se muestran los resultados en función de la tipología de participantes ganadores.

Tabla 9.10: Escenario 2: resultados principales.

Tipo de subasta	Importe (<i>MUSD</i>)	% repeticiones en las que lotes conexos se adjudican a un mismo participante			% ganadores alcanzan su OC_i^*
		Lotes 2.2 y 2.3	Lotes 2.6 y 2.9	Lotes 2.2 y 2.3 o Lotes 2.6 y 2.9	
Independiente E2	2.271	0 %	0 %	0 %	37 %
<i>Independiente E1</i>	2.300	0 %	2 %	2 %	33 %
Combinatoria E2	2.155	48 %	76 %	82 %	74 %
<i>Combinatoria E1</i>	2.184	66 %	86 %	98 %	74 %
Diferencia E2	116 (5,1 %)				
<i>Diferencia E1</i>	117 (5,1 %)				

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.11: Escenario 2: tamaño de los paquetes adjudicados.

Tipo de subasta	Nº ganadores medio	% ganadores obtienen 1 lote	% ganadores obtienen 2 lotes	% ganadores obtienen 3 lotes
Independiente E2	7,4	86 %	12 %	3 %
<i>Independiente E1</i>	7,5	82 %	18 %	0 %
Combinatoria E2	4,1	23 %	23 %	54 %
<i>Combinatoria E1</i>	3,9	21 %	21 %	58 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.12: Escenario 2: tipología de los participantes ganadores.

Tipo de subasta	% ganadores con OC_i^*			% ganadores de tamaño			% ganadores con actividad	
	1	2	3	pequeño y medio	grande	muy grande	constructor	mixto e inversor
Independiente E2	38 %	21 %	41 %	42 %	6 %	52 %	73 %	24 %
<i>Independiente E1</i>	39 %	26 %	36 %	42 %	10 %	48 %	82 %	18 %
Combinatoria E2	7 %	22 %	71 %	13 %	4 %	82 %	40 %	60 %
<i>Combinatoria E1</i>	4 %	21 %	74 %	11 %	4 %	84 %	52 %	48 %

Fuente: elaboración propia.

Los resultados son en general muy parecidos a los del Escenario Base (E1). Como podemos apreciar en la Tabla 9.10 tanto el importe de adjudicación como el % de ganadores que alcanzan su OC_i^* son prácticamente iguales. Igual sucede con el tamaño de los paquetes adjudicados (ver Tabla 9.11). La principal diferencia es el tipo de actividad de los ganadores en el caso de subasta combinatoria, siendo en este caso mayoría los del tipo mixto e inversor, derivado de dar mayor peso en este escenario a las variables el I_2 (D), I_3 (E) e I_4 (E/I), y menor a I_1 (I), lo que hace que los participantes de estos tipo realicen ofertas comparativamente más agresivas (ver Tabla 9.12).

9.2.2. Escenario 3

En este escenario, el impacto de la inversión necesaria para construir un lote es mayor que el del resto de variables: $I_1 = 5\%$ y $I_2 = I_3 = I_4 = 1\%$. El impacto de las variables I_5 e I_6 no cambia respecto del Escenario Base.

Se pueden apreciar en la Tabla 9.13 los resultados respecto de el precio final total a

pagar por la ANI, la asignación de lotes conexos y el alcance de la OC_i^* por los participantes ganadores.

En la Tabla 9.14 se muestran los resultados en relación al tamaño de los paquetes adjudicados y finalmente en la Tabla 9.15 se muestran los resultados en función de la tipología de participantes ganadores.

Tabla 9.13: Escenario 3: resultados principales.

Tipo de subasta	Importe (MUSD)	% repeticiones en las que lotes conexos se adjudican a un mismo participante			% ganadores alcanzan su OC_i^*
		Lotes 2.2 y 2.3	Lotes 2.6 y 2.9	Lotes 2.2 y 2.3 o Lotes 2.6 y 2.9	
Independiente E3	2.305	0 %	2 %	2 %	42 %
<i>Independiente E1</i>	2.300	0 %	2 %	2 %	33 %
Combinatoria E3	2.196	60 %	72 %	88 %	76 %
<i>Combinatoria E1</i>	2.184	66 %	86 %	98 %	74 %
Diferencia E3	109 (4,7 %)				
<i>Diferencia E1</i>	117 (5,1 %)				

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.14: Escenario 3: tamaño de los paquetes adjudicados.

Tipo de subasta	Nº ganadores medio	% gan. obtienen 1 lote	% gan. obtienen 2 lotes	% gan. obtienen 3 lotes
Independiente E3	7,8	80 %	20 %	0 %
<i>Independiente E1</i>	7,5	82 %	18 %	0 %
Combinatoria E3	4,0	29 %	29 %	43 %
<i>Combinatoria E1</i>	3,9	21 %	21 %	58 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.15: Escenario 3: tipología de los participantes ganadores.

Tipo de subasta	% ganadores con OC_i^*			% ganadores de tamaño			% ganadores con actividad	
	1	2	3	pequeño y medio	grande	muy grande	constructor	mixto e inversor
Independiente E3	56 %	29 %	16 %	57 %	16 %	28 %	98 %	2 %
<i>Independiente E1</i>	39 %	26 %	36 %	42 %	10 %	48 %	82 %	18 %
Combinatoria E3	13 %	31 %	56 %	17 %	14 %	79 %	78 %	22 %
<i>Combinatoria E1</i>	4 %	21 %	74 %	11 %	4 %	84 %	52 %	48 %

Fuente: elaboración propia.

En este escenario se le da mayor peso relativo a la variable I_1 (I), lo que hace que los participantes tipo constructor, que la ponderan de forma más positiva en general, obtengan

un mayor porcentaje de adjudicaciones respecto del Escenario Base: un 98 % en la subasta independiente de un lote, reduciéndose el porcentaje de ganadores tipo inversor y mixto a sólo el 2 %. Asimismo en la subasta combinatoria se incrementa hasta el 78 % frente a 52 % del Escenario Base (ver Tabla 9.15).

Sin embargo, este cambio en la tendencia del tipo de adjudicatario, no afecta al precio total de adjudicación que se mantiene muy parecido en el Escenario 3, tanto en importe total, como en diferencia entre los dos tipos de subastas respecto, al del Escenario Base (ver Tabla 9.13).

Tampoco se aprecian cambios significativos en ambos escenarios al analizar el tamaño de los paquetes adjudicados (ver Tabla 9.14).

9.2.3. Escenario 4

En este escenario, a las variables que afectan la valoración de los paquetes se les otorga un efecto nulo: $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 3\%$ y $I_5 = I_6 = 0\%$.

En la Tabla 9.16 se muestran los resultados en relación al precio final total a pagar por la ANI, a la asignación de lotes conexos y al alcance de la OC_i^* por los participantes ganadores.

En la Tabla 9.17 se expresan los resultados relativos al tamaño de los paquetes adjudicados y finalmente la Tabla 9.18 detalla los resultados en función de la tipología de participantes ganadores.

Este escenario tiene como principal característica que las variables $I_5 (C) = 0$ e $I_6 (OC) = 0$. Bajo esta hipótesis, los participantes no tendrían mayor interés por alcanzar su OC_i^* o por adjudicarse lotes conexos en un mismo paquete.

Se puede comprobar que esto lleva a un precio total a pagar por parte de la ANI más alto que en los escenarios previos, así como a una diferencia menor entre los resultados de la

Tabla 9.16: Escenario 4: resultados principales.

Tipo de subasta	Importe (<i>MUSD</i>)	% repeticiones en las que lotes conexos se adjudican a un mismo participante			% ganadores alcanzan su OC_i^*
		Lotes 2.2 y 2.3	Lotes 2.6 y 2.9	Lotes 2.2 y 2.3 o lotes 2.6 y 2.9	
Independiente E4	2.330	2 %	2 %	4 %	27 %
<i>Independiente E1</i>	2.300	0 %	2 %	2 %	33 %
Combinatoria E4	2.258	14 %	16 %	28 %	49 %
<i>Combinatoria E1</i>	2.184	66 %	86 %	98 %	74 %
Diferencia E4	71 (3,0 %)				
<i>Diferencia E1</i>	117 (5,1 %)				

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.17: Escenario 4: tamaño de los paquetes adjudicados.

Tipo de subasta	Nº ganadores medio	% gan. obtienen 1 lote	% gan. obtienen 2 lotes	% gan. obtienen 3 lotes
Independiente E4	7,5	85 %	15 %	0 %
<i>Independiente E1</i>	7,5	82 %	18 %	0 %
Combinatoria E4	4,3	29 %	29 %	43 %
<i>Combinatoria E1</i>	3,9	21 %	21 %	58 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.18: Escenario 4: tipología de los participantes ganadores.

Tipo de subasta	% ganadores con OC_i^*			% ganadores de tamaño			% ganadores con actividad	
	1	2	3	pequeño y medio	grande	muy grande	constructor	mixto e inversor
Independiente E4	27 %	28 %	46 %	30 %	8 %	62 %	77 %	23 %
<i>Independiente E1</i>	39 %	26 %	36 %	42 %	10 %	48 %	82 %	18 %
Combinatoria E4	8 %	27 %	66 %	14 %	4 %	81 %	63 %	37 %
<i>Combinatoria E1</i>	4 %	21 %	74 %	11 %	4 %	84 %	52 %	48 %

Fuente: elaboración propia.

subasta combinatoria y independiente de un lote, aunque aún existe un beneficio relativo del 3 % al utilizar la subasta combinatoria (ver Tabla 9.16).

En lo que respecta a la adjudicación de lotes conexos, el resultado es muy inferior que el del Escenario Base. Sin embargo, la subasta combinatoria, al favorecer de forma genérica la adjudicación en paquetes, sigue mejorando el resultado frente a la subasta independiente.

En cuanto al alcance de la OC_i^* (ver Tabla 9.18), los resultados son muy interesantes, pues se puede ver que, en la subasta independiente de un lote, el porcentaje de ganadores

que alcanzan su OC_i^* desciende respecto del Escenario Base (E1) en mucha menor medida que en el caso de la subasta combinatoria. Esto implica que, en las subastas independientes, el hecho de incluir un valor determinado al impacto de la variable I_6 , no surge casi ningún efecto, y demuestra la poca capacidad que otorgan a los participantes para poder expresar sus preferencias y obtener resultados acordes a ellas.

En relación a la tipología de participantes, también en la Tabla 9.18, no hay grandes diferencias con respecto del Escenario Base. Esto concuerda con el hecho de que el valor dado a las variables intrínsecas a los lotes es igual en ambos escenarios. De igual forma sucede con el tamaño de los paquetes adjudicados (ver Tabla 9.17).

9.2.4. Escenario 5

En este escenario, sólo las variables que afectan a la valoración de los paquetes tienen impacto sobre la oferta final: $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 0\%$ y $I_5 = I_6 = 3\%$.

En la Tabla 9.19 se aprecian los resultados en relación al precio final total a pagar por la ANI, a la asignación de lotes conexos y al alcance de la OC_i^* por los participantes ganadores.

La Tabla 9.20 muestra los resultados respecto de el tamaño de los paquetes adjudicados y finalmente en la Tabla 9.21 se muestran los resultados en función de la tipología de participantes ganadores.

El Escenario 5 se caracteriza principalmente por otorgar valor nulo a las variables I_1 (I), I_2 (D), I_3 (E) e I_4 (E/I), y dar exclusivamente valor a las variables relacionadas con la formación de paquetes I_5 (C) y I_6 (OC).

Como se puede comprobar en la Tabla 9.19, no existe en este escenario un impacto sustancial respecto del precio final a pagar por la administración, ni en relación a la adjudicación de los lotes conexos entre sí, respecto al Escenario Base.

Tabla 9.19: Escenario 5: resultados principales.

Tipo de subasta	Importe (<i>MUSD</i>)	% repeticiones en las que lotes conexos se adjudican a un mismo participante			% ganadores alcanzan su OC_i^*
		Lotes 2.2 y 2.3	Lotes 2.6 y 2.9	Lotes 2.2 y 2.3 o lotes 2.6 y 2.9	
Independiente E5	2.318	2 %	0 %	2 %	42 %
<i>Independiente E1</i>	2.300	0 %	2 %	2 %	33 %
Combinatoria E5	2.223	66 %	74 %	90 %	69 %
<i>Combinatoria E1</i>	2.184	66 %	86 %	98 %	74 %
Diferencia E5	95 (4,1 %)				
<i>Diferencia E1</i>	117 (5,1 %)				

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.20: Escenario 5: tamaño de los paquetes adjudicados.

Tipo de subasta	Nº ganadores medio	% gan. obtienen 1 lote	% gan. obtienen 2 lotes	% gan. obtienen 3 lotes
Independiente E5	7,5	81 %	17 %	1 %
<i>Independiente E1</i>	7,5	82 %	18 %	0 %
Combinatoria E5	4,1	29 %	29 %	43 %
<i>Combinatoria E1</i>	3,9	21 %	21 %	58 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.21: Escenario 5: tipología de los participantes ganadores.

Tipo de subasta	% ganadores con OC_i^*			% ganadores de tamaño			% ganadores con actividad	
	1	2	3	pequeño y medio	grande	muy grande	constructor	mixto e inversor
Independiente E5	63 %	31 %	6 %	62 %	17 %	21 %	98 %	2 %
<i>Independiente E1</i>	39 %	26 %	36 %	42 %	10 %	48 %	82 %	18 %
Combinatoria E5	16 %	31 %	53 %	19 %	14 %	67 %	57 %	43 %
<i>Combinatoria E1</i>	4 %	21 %	74 %	11 %	4 %	84 %	52 %	48 %

Fuente: elaboración propia.

El hecho de que los precios de adjudicación sean muy similares en los Escenarios 1, 2, 3 y 5 demuestra que el modelo es robusto, independientemente del valor del impacto que se otorgue a las variables I_1 , I_2 , I_3 e I_4 . En todos estos escenarios, los valores de los impactos de las variables I_5 e I_6 son iguales, mientras que los de las 4 primeras se modifican, dentro de una proporción razonable. Dado que el valor real de cada una de las variables es desconocido y en la vida real será, con toda seguridad, diferente para cada empresa, en función de su situación particular. Este resultado es muy importante dentro del marco del análisis realizado, pues demuestra que la subasta combinatoria es óptima frente a la subasta independiente, sin

que esto se vea afectado por el valor real que las empresas puedan darle, en cada momento, a las variables intrínsecas. Un hecho similar sucede con el tamaño de los paquetes adjudicados, (ver Tabla 9.20), que es prácticamente similar al del Escenario Base.

Veremos en los próximos apartados que en los escenarios extremos, donde no se mantiene esta proporción, los resultados son diferentes.

En relación a la OC_i^* y el tamaño de los ganadores (ver Tabla 9.21), comprobamos que este escenario favorece la adjudicación a participantes con menor tamaño y OC_i^* .

9.3. Escenarios extremos: resultados

En este apartado se explican los resultados de los escenarios extremos, definidos a partir del Escenario Base.

9.3.1. Escenario 1a

En este escenario, el impacto de la inversión (I) necesaria para desarrollar un lote tiene un valor de $I_1 = 12\%$. El resto de variables tienen un impacto del 3%.

En la Tabla 9.22 al igual que en los apartados anteriores, se aprecian los resultados en relación al precio final total a pagar por la ANI, a la asignación de lotes conexos y al alcance de la OC_i^* por los participantes ganadores, mientras que la Tabla 9.23 muestra los resultados en relación al tamaño de los paquetes adjudicados y finalmente en la Tabla 9.24 se muestran los resultados en función de la tipología de participantes ganadores.

El resultado de este escenario es muy similar en términos de diferencia entre los precios finales de adjudicación, respecto al obtenido en el Escenario Base, presentando un 4% de descuento adicional en la subasta combinatoria respecto la independiente de un lote. Este

Tabla 9.22: Escenario 1a: resultados principales.

Tipo de subasta	Importe (<i>MUSD</i>)	% repeticiones en las que lotes conexos se adjudican a un mismo participante			% ganadores alcanzan su OC_i^*
		Lotes 2.2 y 2.3	Lotes 2.6 y 2.9	Lotes 2.2 y 2.3 o lotes 2.6 y 2.9	
Independiente E1a	2.237	0 %	2 %	2 %	36 %
<i>Independiente E1</i>	2.300	0 %	2 %	2 %	33 %
Combinatoria E1a	2.128	34 %	72 %	84 %	78 %
<i>Combinatoria E1</i>	2.184	66 %	86 %	98 %	74 %
Diferencia E1a	108 (4,8 %)				
<i>Diferencia E1</i>	117 (5,1 %)				

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.23: Escenario 1a: tamaño de los paquetes adjudicados.

Tipo de subasta	Nº ganadores medio	% gan. obtienen 1 lote	% gan. obtienen 2 lotes	% gan. obtienen 3 lotes
Independiente E1a	7,3	72 %	25 %	3 %
<i>Independiente E1</i>	7,5	82 %	18 %	0 %
Combinatoria E1a	4,3	33 %	19 %	48 %
<i>Combinatoria E1</i>	3,9	21 %	21 %	58 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.24: Escenario 1a: tipología de los participantes ganadores.

Tipo de subasta	% ganadores con OC_i^*			% ganadores de tamaño			% ganadores con actividad	
	1	2	3	pequeño y medio	grande	muy grande	constructor	mixto e inversor
Independiente E1a	40 %	21 %	39 %	44 %	10 %	46 %	94 %	6 %
<i>Independiente E1</i>	39 %	26 %	36 %	42 %	10 %	48 %	82 %	18 %
Combinatoria E1a	19 %	11 %	70 %	20 %	3 %	77 %	92 %	8 %
<i>Combinatoria E1</i>	4 %	21 %	74 %	11 %	4 %	84 %	52 %	48 %

Fuente: elaboración propia.

resultado revela que establecer un valor extremo para el impacto de la inversión I_1 afecta de forma similar tanto a la subasta independiente de un lote como a la combinatoria (ver Tabla 9.22).

Sin embargo, los valores absolutos de los descuentos obtenidos son significativamente superiores a los del Escenario Base, lo que implica que el establecimiento de valores extremos para el impacto de la inversión I_1 , resulta en la realización de ofertas más agresivas por parte de los participantes.

Respecto de del tamaño de los paquetes adjudicados (ver Tabla 9.23), se observa que en la subasta combinatoria se incrementa el número de ganadores de 1 lote respecto del escenario Base, reduciéndose el de ganadores de 3 lotes. Esto se debe al alto valor que se ha dado a una de las variables intrínsecas (I_1), en relación de las relacionadas con la asignación de lotes conexos (I_5) y el alcance de la OC_i^* (I_6), lo que produce, por el efecto relativo, un desincentivo de la adjudicación en paquetes.

Al respecto del tipo actividad de los ganadores (ver Tabla 9.24), en ambas subastas se incrementa el porcentaje de participantes adjudicatarios del tipo constructor, de forma especial en la combinatoria. Esto demuestra nuevamente que la subasta combinatoria permite reflejar de mejor forma el interés de los participantes, de manera que, en este escenario, al estar favorecida la variable I_1 respecto del resto, los constructores podrán pujar de forma más agresiva, y obtener más adjudicaciones.

9.3.2. Escenario 1b

En este escenario, las variables Deuda (D) y Capital (C) tienen un efecto de $I_2 = I_3 = 12\%$. El resto de variables mantienen un impacto igual al 3%.

En la Tabla 9.25 se aprecian los resultados en relación al precio final total a pagar por la ANI, a la asignación de lotes conexos y al alcance de la OC_i^* por los participantes ganadores.

La Tabla 9.26 muestra los resultados en relación al tamaño de los paquetes adjudicados y finalmente en la Tabla 9.27 se muestran los resultados en función de la tipología de participantes ganadores.

El resultado en este escenarios es superior en términos de diferencias de precios finales alcanzados, respecto al obtenido en el Escenario Base, presentando un 6% de descuento adicional en la subasta combinatoria respecto la independiente de un lote (ver Tabla 9.25).

Asimismo, el hecho de establecer valores extremos para determinadas variables, hace que

Tabla 9.25: Escenario 1b: resultados principales.

Tipo de subasta	Importe (MUSD)	% repeticiones en las que lotes conexos se adjudican a un mismo participante			% ganadores alcanzan su OC_i^*
		Lotes 2.2 y 2.3	Lotes 2.6 y 2.9	Lotes 2.2 y 2.3 o lotes 2.6 y 2.9	
Independiente E1b	2.184	0 %	10 %	10 %	47 %
<i>Independiente E1</i>	2.300	0 %	2 %	2 %	33 %
Combinatoria E1b	2.041	8 %	80 %	82 %	70 %
<i>Combinatoria E1</i>	2.184	66 %	86 %	98 %	74 %
Diferencia E1b	143 (6,5 %)				
<i>Diferencia E1</i>	117 (5,1 %)				

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.26: Escenario 1b: tamaño de los paquetes adjudicados.

Tipo de subasta	Nº ganadores medio	% gan. obtienen 1 lote	% gan. obtienen 2 lotes	% gan. obtienen 3 lotes
Independiente E1b	5.8	70 %	11 %	18 %
<i>Independiente E1</i>	7,5	82 %	18 %	0 %
Combinatoria E1b	4.6	43 %	17 %	39 %
<i>Combinatoria E1</i>	3.9	21 %	21 %	58 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.27: Escenario 1b: tipología de los participantes ganadores.

Tipo de subasta	% ganadores con OC_i^*			% ganadores de tamaño			% ganadores con actividad	
	1	2	3	pequeño y medio	grande	muy grande	constructor	mixto e inversor
Independiente E1b	22 %	5 %	73 %	25 %	11 %	64 %	41 %	59 %
<i>Independiente E1</i>	39 %	26 %	36 %	42 %	10 %	48 %	82 %	18 %
Combinatoria E1b	19 %	2 %	79 %	19 %	2 %	79 %	37 %	63 %
<i>Combinatoria E1</i>	4 %	21 %	74 %	11 %	4 %	84 %	52 %	48 %

Fuente: elaboración propia.

los precios totales en valor absoluto a pagar por la administración sean inferiores respecto del Escenario Base.

Al igual que en el escenario anterior, y por idénticas razones, en lo que respecta al tamaño de los paquetes adjudicados (ver Tabla 9.26), se observa que en la subasta combinatoria se incrementa el número de ganadores de 1 lote respecto del escenario Base, mientras que el de ganadores de 3 lotes se reduce.

Al analizar el tipo actividad de los ganadores, en ambas subastas se incrementa el

porcentaje de los del tipo inversor y mixto, por razones similares a las explicadas en el Escenario 1a con los de tipo constructor (ver Tabla 9.27).

9.3.3. Escenario 1c

En este escenario, la existencia de lotes conexos en el mismo paquete tiene un impacto de $I_5 = 12\%$. El resto de variables tienen un impacto igual al 3%.

En la Tabla 9.28 se aprecian los resultados en relación al precio final total a pagar por la ANI, a la asignación de lotes conexos y al alcance de la OC_i^* por los participantes ganadores.

La Tabla 9.29 muestra los resultados en relación al tamaño de los paquetes adjudicados y finalmente en la Tabla 9.30 se muestran los resultados en función de la tipología de participantes ganadores.

Tabla 9.28: Escenario 1c: resultados principales.

Tipo de subasta	Importe (MUSD)	% repeticiones en las que lotes conexos se adjudican a un mismo participante			% ganadores alcanzan su OC_i^*
		Lotes 2.2 y 2.3	Lotes 2.6 y 2.9	Lotes 2.2 y 2.3 o lotes 2.6 y 2.9	
Independiente E1c	2.300	0%	2%	2%	33%
<i>Independiente E1</i>	2.300	0%	2%	2%	33%
Combinatoria E1c	2.045	100%	100%	100%	79%
<i>Combinatoria E1</i>	2.184	66%	86%	98%	74%
Diferencia E1c	256 (11, 1%)				
<i>Diferencia E1</i>	117 (5, 1%)				

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.29: Escenario 1c: tamaño de los paquetes adjudicados.

Tipo de subasta	Nº ganadores medio	% ganadores obtienen 1 lote	% ganadores obtienen 2 lotes	% ganadores obtienen 3 lotes
Independiente E1c	7,5	82%	18%	0%
<i>Independiente E1</i>	7,5	82%	18%	0%
Combinatoria E1c	3.8	19%	19%	62%
<i>Combinatoria E1</i>	3.9	21%	21%	58%

Fuente: elaboración propia.

En este escenario se da un valor extremo a la variable de conectividad $I_5 = 12\%$. Esto

Tabla 9.30: Escenario 1c: tipología de los participantes ganadores.

Tipo de subasta	% ganadores con OC_i^*			% ganadores de tamaño			% ganadores con actividad	
	1	2	3	pequeño y medio	grande	muy grande	constructor	mixto e inversor
Independiente E1c	39 %	26 %	36 %	45 %	12 %	43 %	82 %	18 %
<i>Independiente E1</i>	<i>39 %</i>	<i>26 %</i>	<i>36 %</i>	<i>42 %</i>	<i>10 %</i>	<i>48 %</i>	<i>82 %</i>	<i>18 %</i>
Combinatoria E1c	6 %	18 %	77 %	9 %	4 %	87 %	53 %	47 %
<i>Combinatoria E1</i>	<i>4 %</i>	<i>21 %</i>	<i>74 %</i>	<i>11 %</i>	<i>4 %</i>	<i>84 %</i>	<i>52 %</i>	<i>48 %</i>

Fuente: elaboración propia.

significa que el impacto de las sinergias por la asignación de lotes conectados será mucho mayor al del resto de variables.

Este es el escenario donde la diferencia entre el descuento alcanzado en las subastas independientes de un lote y la combinatoria es más alto, del 11 % (ver Tabla 9.28). La razón de esta diferencia, es que la variable I_5 no tiene prácticamente ningún impacto en la subastas independientes de un lote, ya que, de entre todos los participantes, exclusivamente podrá beneficiarse de las sinergias aquél que se haya adjudicado el lote conexo que se hubiera subastado en primer lugar, y esto sólo ocurrirá si hay un plazo suficiente entre una licitación y otra, de forma que se haya resuelto la primera antes de presentar oferta por la segunda. Sin embargo, en la subasta combinatoria, todos los participantes podrán expresar las sinergias en sus pujas, multiplicando la competencia por la adjudicación de paquetes que contengan estos lotes.

Efectivamente, en lo que respecta a la adjudicación de lotes conexos, se aprecia la poca flexibilidad que aporta la subasta independiente de un lote, ya que, pese al valor extremo de la variable I_5 , no se incrementa el porcentaje de adjudicaciones en las que los proyectos conexos se adjudican conjuntamente. Sin embargo, en la combinatoria, se alcanza el 100 % de las ocasiones, por las razones anteriormente mencionadas (ver Tabla 9.28).

No se aprecian cambios significativos no respecto del tamaño de los paquetes adjudicados (ver Tabla 9.29), de la tipología de los participantes ganadores (ver Tabla 9.30).

9.3.4. Escenario 1d

En este escenario, alcanzar la OC_i^* del participante tiene un efecto del $I_6 = 12\%$. El resto de variables tienen un impacto igual al 3% .

En la Tabla 9.31 se aprecian los resultados en relación al precio final total a pagar por la ANI, a la asignación de lotes conexos y al alcance de la OC_i^* por los participantes ganadores.

En la Tabla 9.32 se aprecian los resultados en relación a el tamaño de los paquetes adjudicados y finalmente en la Tabla 9.33 se muestran los resultados en función de la tipología de participantes ganadores.

Tabla 9.31: Escenario 1d: resultados principales.

Tipo de subasta	Importe (MUSD)	% repeticiones en las que lotes conexos se adjudican a un mismo participante			% ganadores alcanzan su OC_i^*
		Lotes 2.2 y 2.3	Lotes 2.6 y 2.9	Lotes 2.2 y 2.3 o lotes 2.6 y 2.9	
Independiente E1d	2.154	2 %	6 %	8 %	51 %
<i>Independiente E1</i>	2.300	0 %	2 %	2 %	33 %
Combinatoria E1d	1.982	64 %	70 %	90 %	99 %
<i>Combinatoria E1</i>	2.184	66 %	86 %	98 %	74 %
Diferencia E1d	172 (7,9 %)				
<i>Diferencia E1</i>	117 (5,1 %)				

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.32: Escenario 1d: tamaño de los paquetes adjudicados.

Tipo de subasta	Nº ganadores medio	% gan. obtienen 1 lote	% gan. obtienen 2 lotes	% gan. obtienen 3 lotes
Independiente E1d	6,1	65 %	26 %	10 %
<i>Independiente E1</i>	7,5	82 %	18 %	0 %
Combinatoria E1d	3,6	14 %	14 %	72 %
<i>Combinatoria E1</i>	3,9	21 %	21 %	58 %

Fuente: elaboración propia.

En este escenario se da un valor extremo a la variable OC ($I_6 = 12\%$). Esto significa que el impacto de las sinergias por el hecho de alcanzar la OC_i^* será mucho mayor el del resto de variables.

Este escenario es el que da lugar a los mayores descuentos en valores absolutos, tanto

Tabla 9.33: Escenario 1d: tipología de los participantes ganadores.

Tipo de subasta	% ganadores con OC_i^*			% ganadores de tamaño			% ganadores con actividad	
	1	2	3	pequeño y medio	grande	muy grande	constructor	mixto e inversor
Independiente E1d	96 %	0 %	4 %	96 %	2 %	2 %	98 %	2 %
<i>Independiente E1</i>	<i>39 %</i>	<i>26 %</i>	<i>36 %</i>	<i>42 %</i>	<i>10 %</i>	<i>48 %</i>	<i>82 %</i>	<i>18 %</i>
Combinatoria E1d	6 %	11 %	83 %	4 %	6 %	90 %	50 %	50 %
<i>Combinatoria E1</i>	<i>4 %</i>	<i>21 %</i>	<i>74 %</i>	<i>11 %</i>	<i>4 %</i>	<i>84 %</i>	<i>52 %</i>	<i>48 %</i>

Fuente: elaboración propia.

para para el caso de subasta independiente de un lote como para la combinatoria.

Esto se debe a que todos los participantes, independientemente de que tengan o no adjudicaciones previas de lotes, tendrán interés en alcanzar su OC_i^* , por lo que tiene efecto en ambos mecanismos.

Adicionalmente, de nuevo se comprueba que la subasta combinatoria permite a los participantes expresar mejor sus preferencias por combinaciones de lotes que les hagan alcanzar su OC_i^* . Debido a ello, se obtiene para este caso un elevado descuento adicional, del 7,9%, respecto de la subasta independiente de un lote (ver Tabla 9.31).

En términos de alcance de OC_i^* (ver Tabla 9.33), también este escenario es el que obtiene los mayores porcentajes, con un 51% en las subastas independientes de un lote frente a un 99% en la subasta combinatoria.

En lo que respecta a la tipología de los participantes, en las subastas independientes de un lote se incrementan en gran manera los ganadores con $OC_i^* = 1$, así como los ganadores de tamaño mediano y pequeño.

El valor del impacto que tiene cada variable para cada participante en la vida real, está sujeto a incertidumbres, y con seguridad cambiará en el tiempo, en función de las circunstancias particulares de cada momento. Sin embargo, con las simulaciones realizadas se ha podido comprobar que, de forma consistente, la subasta combinatoria permite a los consorcios licitadores expresar mejor sus preferencias en su valoración de los lotes y

paquetes. Esto genera un círculo virtuoso, que se traduce en unas ofertas más competitivas y económicamente óptimas para las administraciones, y en unas adjudicaciones más eficientes para ambos, al encargar la ejecución de los contratos a participantes con mayor capacidad e interés empresarial para ejecutarlos.

En el Capítulo 10 se muestran los resultados de la investigación en términos globales, comparando los resultados medios de cada escenario, y se obtienen las conclusiones finales.

Capítulo 10

Resultados globales y conclusiones

Tras el desarrollo de los resultados escenario por escenario, en este capítulo se ha procedido a analizarlos de forma global, considerando datos agregados y medios de todos los escenarios, lo que permite, finalmente, presentar las conclusiones principales de este trabajo.

- En el *Apartado 10.1* se muestran los resultados globales de todos los escenarios de forma conjunta.
- En el *Apartado 10.2* se exponen las principales conclusiones de este trabajo.

10.1. Resultados Globales

En este apartado se analizan los valores medios de los resultados de todos los escenarios, siguiendo la misma estructura que se ha utilizado para la presentación de cada escenario.

10.1.1. Precio final total a pagar por la ANI

Los resultados obtenidos en los diferentes escenarios se resumen en la Tabla 10.1. Se muestra el precio a pagar por la administración por el conjunto de los 9 lotes, en función del tipo de subasta. Para cada escenario, se muestra el valor medio de las 50 simulaciones ejecutadas.

Tabla 10.1: Suma de importes de las ofertas ganadoras y descuentos medios por escenario.

Escenario	Tipo de subasta					
	Independiente		Combinatoria		Diferencia	
	Precio (<i>MUSD</i>)	Descuento	Precio (<i>MUSD</i>)	Descuento	Importe (<i>MUSD</i>)	%
1	2.300	22 %	2.184	26 %	117	-5 %
2	2.271	23 %	2.155	27 %	116	-5 %
3	2.305	22 %	2.196	26 %	109	-5 %
4	2.330	21 %	2.258	23 %	71	-3 %
5	2.318	21 %	2.223	25 %	95	-4 %
1a	2.237	24 %	2.128	28 %	108	-5 %
1b	2.184	26 %	2.041	31 %	143	-7 %
1c	2.300	22 %	2.045	31 %	256	-11 %
1d	2.154	27 %	1.982	33 %	172	-8 %
Media	2.267	23 %	2.135	28 %	132	-6 %

Fuente: elaboración propia.

El precio de adjudicación medio para todos los escenarios es un 6 % inferior en la subasta combinatoria respecto del de las subastas independientes de un lote, con valores que se mueven entre el -3 % y el -11 % de descuento en los diferentes escenarios. Una conclusión inmediata que se puede alcanzar es que la subasta combinatoria da lugar a descuentos más altos que las independientes de un lote, lo que se traslada en ahorros para la administración pública¹.

En promedio, el mecanismo combinatorio implica un ahorro de 132 *MUSD* con respecto al mecanismo independiente. Este ahorro se incrementa hasta los 323 *MUSD* si se compara con el precio que quedó fijado en el proceso real de adjudicación de las autopistas 4G².

¹El porcentaje de descuento se mide con respecto al Valor base establecido por la ANI para todos los lotes incluidos en el modelo: $\sum_{j=1}^9 VB^{ANI} = 2.947 \text{ MUSD}$ (ver Ecuación (7.16)).

²El precio total de las ofertas ganadoras del proceso 4G ascendió a 2.458 *MUSD*, con un 17 % de descuento medio.

En la Figura 10.1 se representan en un diagrama caja-bigotes todas las ofertas que se generan en cada una de las 50 simulaciones para los 9 escenarios, para ambos mecanismos de asignación. La subasta combinatoria optimiza el proceso de licitación de lotes, reduciendo significativa y sistemática el precio medio ofertado con respecto al modelo de subastas independientes de un lote.

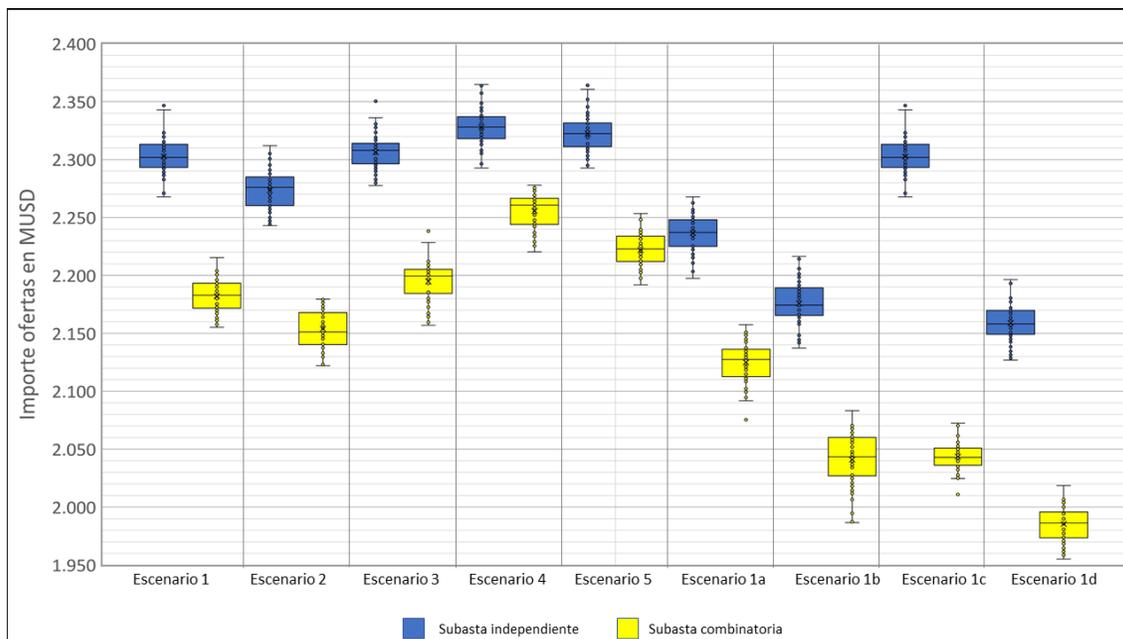


Figura 10.1: Ofertas finales.
Fuente: elaboración propia.

Desde el punto de vista del porcentaje de descuento obtenido sobre los VB^{ANI} , en la Figura 10.2 se muestra la desviación estándar de los descuentos obtenidos en todas las simulaciones, agrupando todos los escenarios, separando los resultados de subastas independientes de un lote de los de las subastas combinatorias. El mecanismo combinatorio produce mayores descuentos con respecto del VB^{ANI} . En promedio, la subasta combinatoria implica un descuento medio del 28 %, un 6 % adicional respecto del de las subastas independientes y un 11 % adicional respecto del obtenido en el proceso de subasta real realizada. Este descuento respecto del VB^{ANI} alcanza valores de hasta el 33 % en los escenarios extremos.

Para poner adecuadamente en contexto la importancia de los descuentos adicionales obtenidos en las subastas combinatorias, es importante recordar que los descuentos a realizar

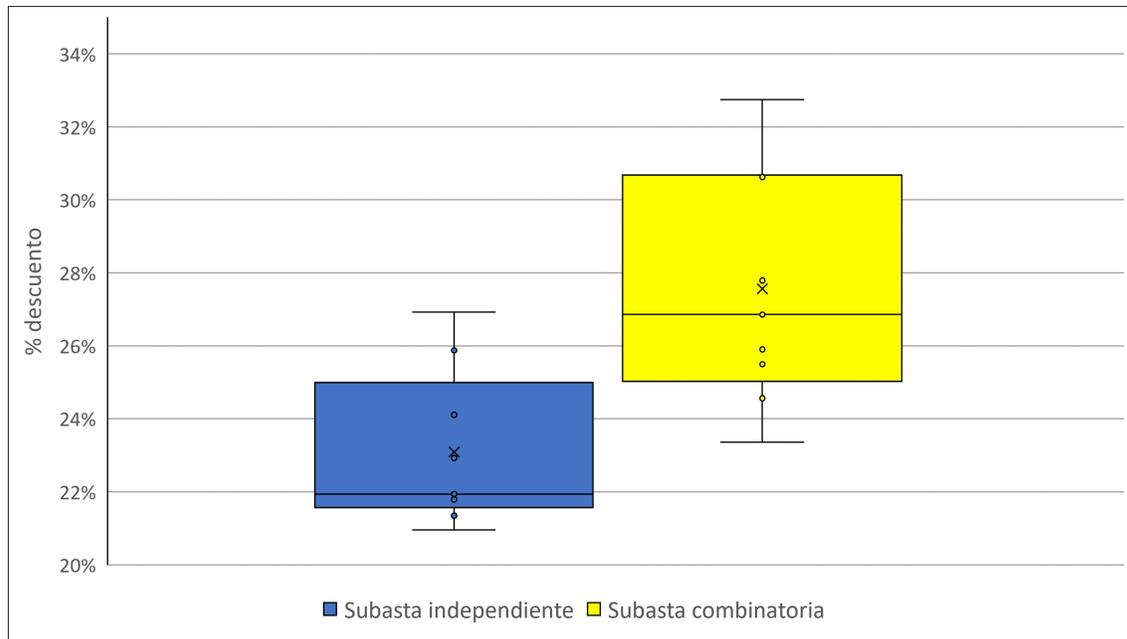


Figura 10.2: Desviación estándar de los descuentos medios de todos los escenarios.
Fuente: elaboración propia.

por los participantes tienen un límite. No tendría sentido pensar que un participante pudiera hacer un descuento del 100% respecto del VB^{ANI} , ya que, sin obtener ingresos, no le sería rentable acometer las inversiones necesarias. Se ha explicado que de forma previa al lanzamiento de las subastas, la administración realizó un detallado proceso de estructuración, durante el cual analizó el balance económico de cada uno de los lotes, y definió los VB^{ANI} que debía pagar a los concesionarios para hacer los proyectos viables. Es razonable pensar que los participantes, derivado de su experiencia y capacidades, puedan proponer descuentos respecto del VB^{ANI} , pero también que estos descuentos no pueden alcanzar valores muy altos. Si los valores fueran extremadamente altos, esto sería un indicador de que, o bien el proceso de estructuración llevado a cabo por la administración no ha sido realizado adecuadamente, o de que los descuentos realizados por los participantes son temerarios, y llevarán, con una alta probabilidad, al fracaso del contrato.

Se puede por tanto afirmar que el porcentaje de descuento adicional obtenido en la subasta combinatoria es relevante, y a su vez viable. De hecho, concluir que la subasta combinatoria resulta en un descuento adicional del 6% respecto de las independientes, es equivalente a

afirmar que permite mejorar el descuento ofrecido a la administración respecto del VB^{ANI} en un 26 %.

Para validar la significancia estadística de estas afirmaciones Se ha realizado un *t-test* y una prueba de *Mann-Whitney* que permita verificar la diferencia entre ambos mecanismos sobre las ofertas finales y descuentos, encontrando que las diferencias son estadísticamente significativas en todos los escenarios con una confianza $> 99\%$, $p_{value} \leq 0,0000$.

10.1.2. Asignación de lotes conexos

Los resultados en términos de asignación de paquetes se resumen en la Tabla 10.2, obteniendo las siguientes conclusiones.

Tabla 10.2: Asignación de lotes conexos por escenario.

Escenario	Independiente		Combinatoria	
	% lotes conexos	Nº medio de ganadores	% lotes conexos	Nº medio de ganadores
1	2 %	7,5	98 %	3,9
2	0 %	7,4	82 %	4,1
3	2 %	7,8	88 %	4,0
4	4 %	7,5	28 %	4,3
5	2 %	7,5	90 %	4,1
1a	2 %	7,3	84 %	4,3
1b	10 %	5,8	82 %	4,6
1c	2 %	7,5	100 %	3,8
1d	8 %	6,1	90 %	3,6
Media	4 %	7,2	82 %	4,1

Fuente: elaboración propia.

La ejecución del mecanismo independiente de un lote implica que sólo en el 4 % de las repeticiones se adjudica alguno de los conjuntos de lotes conexos a un mismo participante ganador. Por lo tanto, en un 96 % de las ocasiones los participantes no podrán beneficiarse de las sinergias derivadas de la adjudicación de lotes conexos. Coherente con este resultado, como se ha indicado en el Apartado 8.6, es el hecho de que en la subasta real realizada no se adjudicaron a un mismo participante ninguno de los lotes conexos de la segunda ola 4G. La causa de este resultado es que en las subastas independientes de un lote, los participantes

nunca pueden tener garantías de ganar los lotes conexos, por lo que pujar de forma agresiva por uno de los lotes complementarios supone asumir un riesgo, pues la probabilidad de obtener el segundo lote es muy baja.

Por el contrario, si se utiliza la subasta combinatoria, el participante ganador obtiene lotes conexos en el 82 % de las repeticiones. Este valor se eleva hasta el 100 % en el Escenario 1c en el que el valor de impacto de obtener lotes conexos se establece en $I_5 = 12\%$. Aún en el Escenario 4, en el que el valor de impacto de obtener lotes conexos se establece en $I_5 = 0\%$, se adjudican lotes conexos el 28 % de las ocasiones, muy superior al caso de las subastas independientes de un lote. Esto es debido a que la subasta combinatoria favorece la asignación por paquetes, lo que hace más probable que los lotes conexos se adjudiquen conjuntamente.

Aumentar el número de lotes conexos adjudicados a un mismo participante tiene un efecto positivo, tanto para los gobiernos como para los participantes, por el incremento de las sinergias y la reducción de costes asociada a ella: las empresas están dispuestas a ejecutar los proyectos a un precio más bajo y los gobiernos tendrán que pagar un precio menor.

Se observa una vez más que la subasta combinatoria permite que los participantes expresen mejor sus preferencias y, en el caso de que den realmente un valor elevado a obtener lotes conectados, podrán expresarlo en sus ofertas.

10.1.3. Alcance de la OC_i^* por los participantes ganadores

En la Tabla 10.3 se muestran los resultados globales en términos de alcance de la OC por parte de los participantes ganadores de lotes.

En el mecanismo independiente de un lote, los participantes ganadores de lotes sólo alcanzan de media su OC_i^* el 38 % de las ocasiones. En contraste, en la subasta combinatoria, la alcanzan de media un 74 %. Estos valores se incrementan hasta el 99 % en el Escenario 1d

Tabla 10.3: Alcance de OC por escenario.

Escenario	Independiente		Combinatoria	
	% Ganadores alcanzan OC^*	Nº medio de ganadores	% Ganadores alcanzan OC^*	Nº medio de ganadores
1	33 %	7,5	74 %	3,9
2	37 %	7,4	74 %	4,1
3	42 %	7,8	76 %	4,0
4	27 %	7,5	49 %	4,3
5	42 %	7,5	69 %	4,1
1a	36 %	7,3	78 %	4,3
1b	47 %	5,8	70 %	4,6
1c	33 %	7,5	79 %	3,8
1d	51 %	6,1	99 %	3,6
Media	38 %	7,2	74 %	4,1

Fuente: elaboración propia.

en el que el impacto de alcanzar la OC_i^* tiene un valor extremo de ($I_6 = 12\%$). Es interesante resaltar que en el Escenario 4, en el que esta variable se establece en cero ($I_6 = 0\%$), el número de participantes que alcanzan su OC_i^* se mantiene en un 49 %, casi el doble que en de la subasta independiente de un lote.

De nuevo, esto implica que si realmente los participantes valoran de forma muy elevada alcanzar su OC_i^* , la subasta combinatoria les permite trasladar esta valoración a sus ofertas, y realizar una puja más agresiva, y de esa forma tener más opciones de ganar el paquete que se ajusta mejor a sus preferencias.

10.1.4. Tamaño de los paquetes adjudicados

En la Tabla 10.4 y la Figura 10.3 se muestran los resultados globales en términos de tamaño de los paquetes adjudicados a los participantes ganadores.

Tabla 10.4: Media de todos los escenarios: tamaño de paquetes adjudicados.

Tipo de subasta	Nº ganadores medio	% ganadores obtienen 1 lote	% ganadores obtienen 2 lotes	% ganadores obtienen 3 lotes
Independiente	7,2	70 %	28 %	2 %
Combinatoria	4,1	12 %	23 %	65 %

Fuente: elaboración propia.

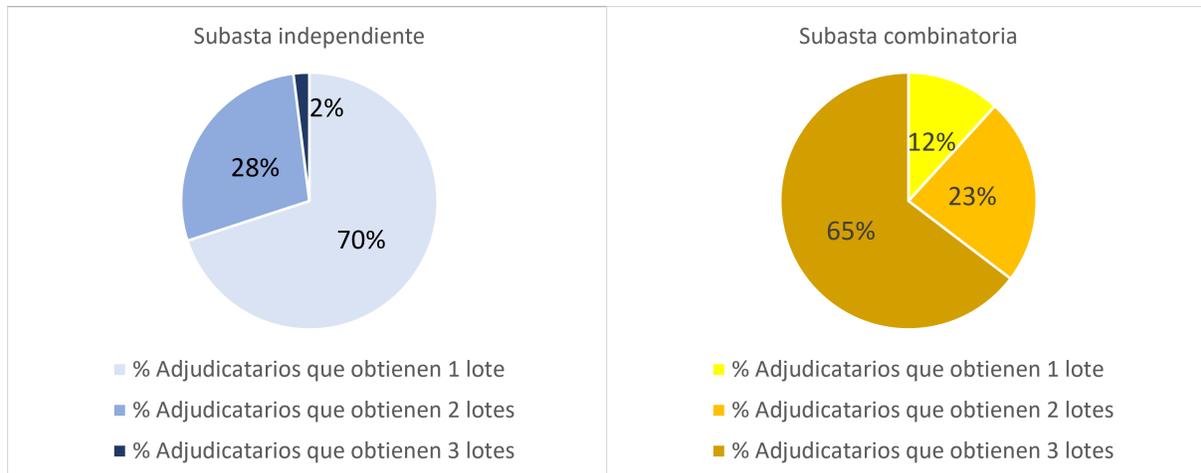


Figura 10.3: Tamaño paquetes adjudicados.
Fuente: elaboración propia.

En las subastas independientes, la mayor parte de las adjudicaciones son de un único lote por participante, mientras que los casos en que los participantes ganan tres lotes son residuales. Lo contrario sucede en las subastas combinatorias, en ellas el porcentaje de paquetes adjudicados formados por tres lotes se eleva hasta el 65%.

Esto vuelve a ser consecuencia de la que las subastas independientes de un lote no permiten a los participantes expresar sus preferencias por la adjudicación de paquetes de varios lotes, ni de incluir las sinergias resultantes en sus valoraciones.

De forma coherente a este resultado, el número de ganadores medio es superior en las subastas independientes de un lote, ascendiendo a 7,2 frente a los 4,1 de las combinatorias.

10.1.5. Tipología de participantes ganadores

En este apartado se analizan las características de los participantes ganadores de lotes:

Como se observa en la Tabla 10.5, en las subastas independientes el ganador es de forma mayoritaria un participante del tipo constructor, con una OC_i^* de 1, y con un tamaño pequeño y mediano, o muy grande. Esto concuerda con los resultados reales obtenidos en la segundo

Tabla 10.5: Media de todos los escenarios: tipología de los participantes ganadores.

Tipo de subasta	% ganadores con OC* _i =			% ganadores de tamaño			% ganadores con actividad	
	1	2	3	pequeño y medio	grande	muy grande	constructor	mixto e inversor
Independiente	46 %	21 %	33 %	49 %	10 %	41 %	83 %	17 %
Combinatoria	11 %	19 %	70 %	14 %	6 %	80 %	58 %	42 %

Fuente: elaboración propia.

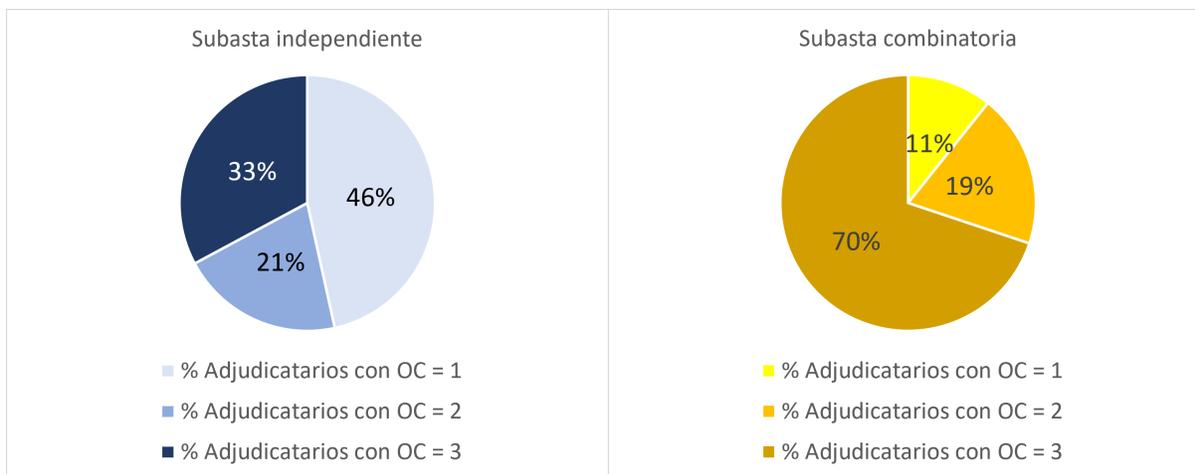


Figura 10.4: Capacidad óptima de los adjudicatarios.

Fuente: elaboración propia.

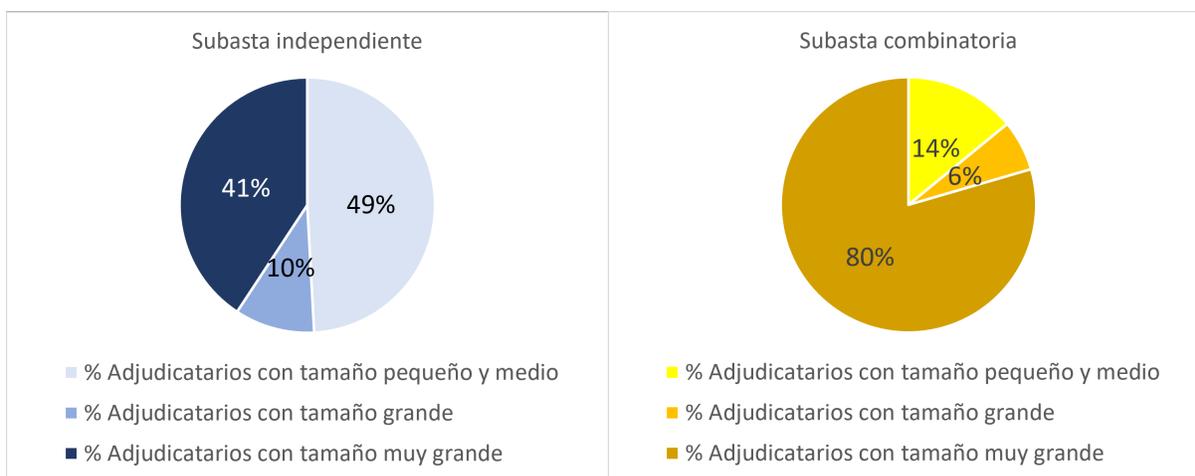


Figura 10.5: Tamaño de los adjudicatarios.

Fuente: elaboración propia.

ola 4G, donde 7 de los 9 participantes ganadores fueron del tipo constructor.

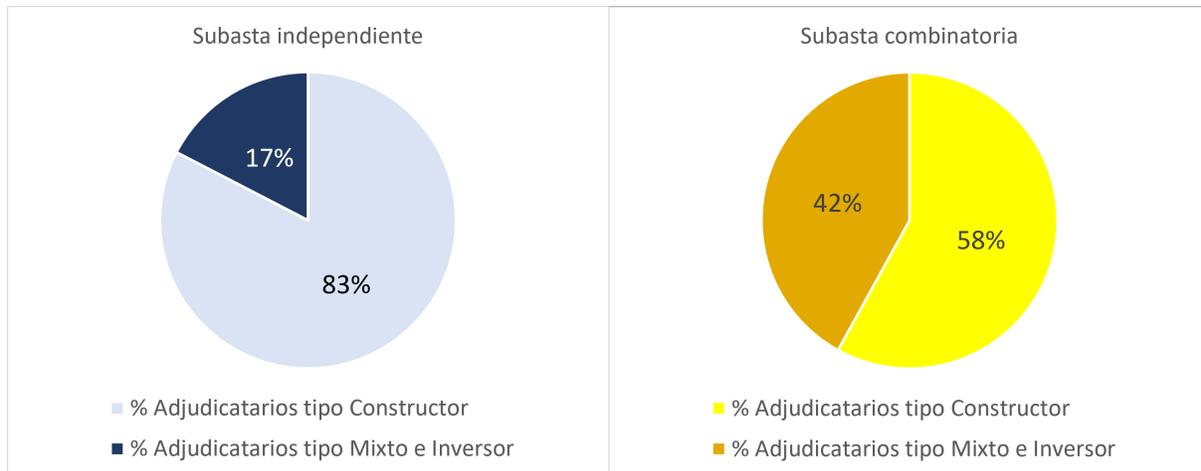


Figura 10.6: Tipología de los adjudicatarios.
Fuente: elaboración propia.

Por el contrario, en las subastas combinatorias predominan los ganadores con OC_i^* de 3 y tamaño muy grande, con un reparto más equitativo entre los participantes tipo constructor, inversor y mixto.

10.2. Conclusiones finales

En la actualidad, el mecanismo de licitación más utilizado para adjudicar una serie de proyectos APP de infraestructuras de transporte, es la celebración de varias subastas independientes de un lote. Este mecanismo se utiliza de forma generalizada, sin tener en cuenta los casos en los que los lotes subastados son lotes relacionados entre sí, sustitutivos o complementarios. Sin embargo, hay multitud de estudios, así como casos reales en otros sectores que afirman que la adjudicación simultánea de todos los proyectos, a través de una única subasta combinatoria, mejora sustancialmente el resultado final, tanto para las administraciones públicas, como para los participantes en las subastas.

Tomando esta situación como punto de partida, se ha desarrollado un trabajo que pretende contribuir de forma decisiva en la mejora de la comprensión de los beneficios y problemáticas de cada tipo de subasta, realizando un contraste con un caso real de especial relevancia.

Proporciona a los responsables de establecer políticas públicas una referencia para evaluar y comparar los resultados de ambos tipos de subasta, con el fin de optimizar los procesos de licitación futuros. Dado el elevado importe de las inversiones necesarias en infraestructuras de transporte, la optimización de los procesos de licitación tendrá un impacto elevado en la cuentas públicas de los países así como en su desarrollo.

Para ello, en este trabajo se han construido dos complejos modelos que resuelven la adjudicación de los lotes entre los participantes interesados en ejecutar los contratos. Este proceso se realiza tanto para el caso de una serie de subastas independientes de un lote, como para el de una única subasta combinatoria que permite, no sólo pujar por paquetes, sino también por combinaciones de ellos.

Como primer paso, se ha construido un modelo de valoración completo, basado en el proceso de licitación pública de la segunda ola 4G colombiana, mediante el que se adjudicaron 9 lotes APP año 2015, correspondientes a 9 tramos de carreteras y autopistas en diferentes zonas de país. El modelo tiene en consideración las características y/o intereses de todos de los intervinientes en los procesos: participantes, administración, lotes subastados, y mercado.

Posteriormente, se han incluido las valoraciones en un modelo de asignación, que calcula los resultados de ambos tipos de subasta, tanto en términos de asignación de lotes, como de importes a pagar por la administración a los ganadores de las subastas. Para la realización de este proceso de asignación se han utilizado técnicas de computación avanzadas, con el objetivo de resolver el WDP, es decir, la adjudicación de los lotes a la combinación de ofertas viable que minimice el precio global a pagar por el subastador. Para aportar solidez a los resultados, se han ejecutado 50 simulaciones de cada escenario, incluyendo un factor de ruido entre ellas, con una distribución gaussiana.

Finalmente, para evitar posibles sesgos en el modelo de valoración, se han definido 5 escenarios básicos más otros 4 escenarios extremos, modificando el impacto que producen determinadas variables definidas en los modelos.

Después de analizar los escenarios descritos, el principal resultado de esta investigación es que la subasta combinatoria mejora el proceso de asignación respecto a la subasta independiente, confirmando así la hipótesis de partida, y además lo hace en los dos aspectos principales que compara la teoría de las subastas:

- **Subasta óptima:** En el caso presentado, una subasta óptima es aquella que minimiza el precio total que el subastador debe pagar al ganador. Se ha demostrado que el mecanismo combinatorio implica ofertas ganadoras más bajas para todos los escenarios con respecto al mecanismo independiente de un lote, lo que implica mayores descuentos y ahorros importantes para el erario público. Por lo tanto, pasar del uso del mecanismo de subasta independiente al combinatorio tendrá un impacto beneficioso sobre los objetivos de los gobiernos y administraciones, al resultar en un uso más eficiente de los recursos públicos.
- **Adjudicación eficiente:** las subastas eficientes son aquellas que asignan los lotes a los participantes que más los valoran. Esto es especialmente importante en el sector de las APP, pues, como su nombre indica, son asociaciones entre la administración pública y las empresa privadas, a muy largo plazo y generalmente para proyectos clave para los países. Por tanto la correcta elección del participante que desarrollará la infraestructura, y por ende, el que éste tenga una alta valoración del proyecto, es fundamental.

Se ha visto que en las subastas combinatorias, los participantes tienen la capacidad de expresar sus preferencias por determinadas combinaciones de lotes. Por lo tanto, cuando existen sinergias entre éstos, los valores incrementales derivados de ganar lotes complementarios podrán reflejarse en las ofertas presentadas. De esta forma, en el modelo construido, los participantes obtienen sinergias, tanto al adjudicarse lotes conexos entre sí, como al ganar un número de lotes tal que se aproxime a su Capacidad Óptima.

Se ha comprobado que la subasta combinatoria resulta en un incremento significativo de la probabilidad de que los lotes conexos se adjudiquen conjuntamente, y de que los participantes ganadores alcancen su OC_i^* . Esto genera un gran beneficio adicional,

ya que los ganadores estarán mejor preparados para ejecutar los trabajos necesarios para el desarrollo de los contratos APP de infraestructuras, que incluyen el diseño, la financiación, la construcción y la operación de las mismas. Se reduce así de forma significativa el riesgo de fracaso en el desarrollo de los proyectos.

En el presente análisis de las redes de transporte públicas, también se ha estudiado el efecto de estas adjudicaciones para los dos principales actores de los procesos: los participantes interesados en ganar los contratos y las administraciones públicas que definen las políticas públicas y que desean desarrollar los proyectos de infraestructura en su país.

■ **Desde el punto de vista de los participantes interesados en ganar los lotes.**

Se ha comprobado que los participantes en las subastas combinatorias tendrán mayor probabilidad de diseñar sus ofertas en función de sus intereses, de obtener lotes conexos entre sí y de alcanzar su OC_i^* . Podrán, por lo tanto, ofertar más agresivamente por los lotes que más se adecúen a sus capacidades y experiencia, pudiendo así ganar los lotes que les aporten mayor valor, con un beneficio razonable, y recuperar los elevados costes del estudio de las ofertas y de la implantación en el país.

■ **Desde el punto de vista de las administraciones públicas.**

Las subastas combinatorias, resultan en el abono de un precio inferior a los ganadores, optimizando así el uso de recursos públicos. Estos ahorros suponen una adjudicación más eficiente de los recursos públicos, que podrán ser destinados a otros proyectos.

Asimismo, se ha observado que compañías de mayor tamaño, con alta capacidad financiera y tipologías diferentes a la constructora, tendrán mayor probabilidad de ganar proyectos que en las subastas independientes de un lote. Esto redundará en que habrá una mayor cantidad de compañías que tendrán interés por participar en las subastas, ya que la subasta combinatoria incrementa sus probabilidades de éxito y, aún más importante, la de que el tamaño del paquete que se adjudiquen sea óptimo para ellas, reduciendo riesgos de adjudicaciones no deseadas. Todo lo anterior irá en beneficio del deseable incremento de la competencia en la participación en las subastas.

Cuando una administración pública decide desarrollar un programa de proyectos de infraestructura, lo hacen con el fin de mejorar las infraestructuras públicas del país, en aras de obtener beneficios para la sociedad en diversos ámbitos, como son:

- *El desarrollo económico*: incremento del comercio, reducción de los tiempos de transporte y de los costes derivados del mismo, incremento del turismo, etc.
- *Objetivos sociales*: creación de puestos de trabajo, mejora de la conectividad entre comunidades, reducción de costes de materias primas y alimentos por reducción de tiempos de transporte, reducción de la accidentalidad, etc.
- *La protección del medio ambiente*: reducción del consumo de combustible y las emisiones de CO_2 , al mejorar los trazados de la vías, regeneración ambiental de las antiguas infraestructuras, al construir nuevas vías con criterios medioambientales modernos, etc.

Por lo tanto, la mejora en los procesos de asignación supone una mejora en estos tres ámbitos.

Previamente a lanzar los procesos, las administraciones públicas invierten una gran cantidad de tiempo y recursos en realizar extensos y costosos estudios. El principal riesgo al que se enfrentan es el del fracaso de los proyectos. El fracaso de un proyecto de este tipo implica, además de graves pérdidas económicas y la alta probabilidad de incurrir en situaciones litigiosas, un grave retraso en la puesta en servicio de las infraestructuras que se pretenden ejecutar. Si esto sucede, los beneficios mencionados se perderán o se verán gravemente dilatados en el tiempo. Para evitar todos estos efectos negativos y minimizar la probabilidad de fracaso de los contratos, las administraciones deben de establecer procesos de licitación que sean atractivos para las empresas, de forma que se fomente la competencia entre ellas, y asegurarse que se asignen los contratos a compañías que puedan desarrollar los proyectos con éxito.

En relación con la minimización del riesgo de fracaso de los contratos, se ha comprobado que el uso de subastas combinatorias da lugar a una serie de hechos relevantes, como son:

- Favorecer la adjudicación de proyectos conexos, permitiendo economías de escala y el mejor uso de los recursos.
- Maximizar el porcentaje de participantes ganadores de lotes que alcanzan su capacidad óptima, que estarán así mejor preparados para afrontar las inversiones necesarias para desarrollar los contratos.
- Obtener un adecuado balance entre las tipologías de participantes ganadores, y así favorecer un equilibrio tanto en tipo como en el tamaño de las empresas adjudicatarias. Así tendrán una capacidad financiera mejor adaptada a cada uno de los proyectos que se les asigne ejecutar.
- Permitir a los participantes realizar sus pujas considerando los lotes ofertados de forma global.

Estos elementos llevarán a una mayor eficiencia en la selección de los ganadores de las subastas, y reducirá la probabilidad de fracaso en la ejecución de los proyectos, evitando efectos negativos para el desarrollo de la sociedad.

Otro resultado importante obtenido es que el mecanismo combinatorio reduce el número de ganadores al final del proceso de adquisición, frente al mecanismo independiente de un lote, ya que favorece la adjudicación de paquetes. Esta situación podría ser poco deseable por los gobiernos, que pueden tener interés por aumentar la competencia, y dar oportunidades a las empresas locales. Si este es el caso, desde la teoría de las subastas se han establecido determinadas reglas que favorecen la diversidad, manteniendo las ventajas de las subastas combinatorias. Algunos ejemplos de estas herramientas potenciales que ya se han implementado en muchos sectores son los siguientes:

- El subastador puede **limitar la cantidad máxima de lotes** que se pueden asignar a un mismo participante, garantizando una mayor distribución.
- Si los gobiernos están preocupados por cuidar a las empresas de menor tamaño, de carácter nacionales o cualquier otro grupo con un interés público particular, pueden

aplicar un **factor multiplicador que mejore las ofertas de éstos licitadores** en términos de asignación, pero sin modificar los precios finales.

Este estudio proporciona resultados que refuerzan los argumentos para la optimización de futuros procesos de licitación de proyectos de infraestructuras bajo el modelo APP, cuando los proyectos a subastar sean lotes relacionados. Los diseñadores de políticas deben tener en cuenta estos resultados, ya que la elección del mecanismo de subasta tiene un impacto muy significativo sobre los participantes y el resultado global del proceso.

Si bien, la ejecución de mecanismos combinatorios, implica un esfuerzo importante por parte de las autoridades públicas (en preparar las licitaciones) y para las empresas (en estudiarlas), el resultado de este trabajo muestra que éste se verá recompensado, ya que los gobiernos podrán obtener grandes ahorros y las empresas podrán beneficiarse de sinergias en los lotes que ganen. Estos beneficios también tendrán un impacto social positivo, pues las administraciones públicas podrán destinar esos recursos en otros proyectos necesarios para el desarrollo de la sociedad.

Un desafío pendiente para mejorar y extender este trabajo de investigación sería comparar el resultado después de introducir nuevas reglas de fijación de precios, como el segundo precio, o modificaciones alternativas en los procesos de asignación combinatoria. Dichos estudios ayudarían a determinar el mejor mecanismo de subasta para el sector de infraestructura de transporte.

Bibliografía

- [1] Ahmadabadi, A. y Heravi, G. (2019). “The effect of critical success factors on project success in Public-Private Partnership projects: A case study of highway projects in Iran”. En: *Transport Policy* 73, págs. 152-161.
- [2] ANI (s.f.[a]). *Página web Agencia Nacional de Infraestructura. ANISCOPIO*. URL: <https://aniscopio.ani.gov.co/>.
- [3] — (s.f.[b]). *Página web Agencia Nacional de Infraestructura. Cuarta Generación de Concesiones*. URL: <https://www.ani.gov.co/proyecto/general/cuarta-generacion-de-concesiones-1068>.
- [4] Bulow, J. y Klemperer, P. (1996). “Auctions versus Negotiations”. En: *The American Economic Review* 86.1, págs. 180-194.
- [5] Caplice, C. y Sheffi, Y. (2006). “Combinatorial auctions for truckload transportation”. En: *Combinatorial auctions*, págs. 539-571.
- [6] Carbonara, N., Costantino, N. y Pellegrino, R. (2016). “A transaction costs-based model to choose PPP procurement procedures”. En: *Engineering, Construction and Architectural Management* 23.4, págs. 491-510.
- [7] Carbonara, N., Gunnigan, L., Pellegrino, R. y Sciancalepore, F. (2012). “Tendering procedures in PPP: a literature review”. En: *Public Private Partnerships in Transport: Trends and Theory Discussion Papers* 1, págs. 1-15.
- [8] Cardenas, M., Gaviria, A. y Meléndez, M. (2006). “La infraestructura del Transporte en Colombia”. En: *Nueva Serie Cuadernos de Fedesarrollo* 17.

- [9] Chan, A., Amaratunga, D., Hastak, M., Lombardi, P., Senaratne, S., Jin, X., Sawhney, X., Sun, Y., Wang, L. y Zhang, T. (2022). “The Conditional Configuration Path for Private Enterprises Participating in PPP: A Fuzzy-Set Qualitative Comparative Analysis”. En: *Buildings* 12, pág. 440.
- [10] Chou, J., Tserng, H., Lin, C. y Yeh, C. (2012). “Critical factors and risk allocation for PPP policy: Comparison between HSR and general infrastructure projects”. En: *Transport Policy* 22, págs. 36-48.
- [11] Cioffi-Revilla, C. (2010). “A Methodology for Complex Social Simulations”. En: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 13.1, pág. 7.
- [12] Clavijo, S., Vera, A., Cuéllar, E. y Vera, N. (2014). *Concesiones de Infraestructura de Cuarta Generación (4G): Requerimientos de Inversión y Financiamiento Público-Privado*. Inf. téc. ANIF, Elaborado para la Cámara Colombiana de Infraestructura.
- [13] Comisión Nacional de la Competencia (2013). *E-2013-01: Aplicación de la guía de contratación y competencia a los procesos de licitación para la provisión de la sanidad pública en España*. Inf. téc. Comisión Nacional de la Competencia.
- [14] Cremer, J. y McLean, R. (1988). “Full Extraction of the Surplus in Bayesian and Dominant Strategy Auctions”. En: *Econometrica* 56.6, págs. 1247-1257. ISSN: 00129682, 14680262. (Visitado 03-02-2023).
- [15] Cruz, C., Barrientos, M. y Babbar, S. (2001). “Toll road concessions : the Chilean experience (English)”. En: *PPG discussion paper series* 1.124.
- [16] Cui, C., Liu, Y., Hope, A. y Wang, J. (2018). “Review of studies on the public–private partnerships (PPP) for infrastructure projects”. En: *International Journal of Project Management* 36.5, págs. 773-794.
- [17] De Clerck, D. y Demeulemeester, E. (2014). “Towards a more competitive PPP procurement market: a game-theoretical analysis”. En: *SSRN Electronic Journal*.
- [18] — (2016). “An ex ante bidding model to assess the incentive creation capability of a public–private partnership pipeline”. En: *International Journal of Project Management* 34.34, págs. 117-131.
- [19] De Silva, D. (2005). “Synergies in recurring procurement auctions: an empirical investigation”. En: *Economic Inquiry* 43.1, págs. 55-66.

-
- [20] Dixon, T., Pottinger, G. y Jordan, A. (2005). “Lessons from the private finance initiative in the UK: Benefits, problems and critical success factors”. En: *Journal of Property Investment and Finance* 23.23, págs. 412-423. ISSN: 1463578X.
- [21] Dudkin, G. y Vällilä, T. (2006). “Lessons from the private finance initiative in the UK: Benefits, problems and critical success factors”. En: *Competition and Regulation in Network Industries*, 2(1).6, págs. 307-330. ISSN: 1783-5917.
- [22] Engelbrecht-Wiggans, R. (1988). “On a possible benefit to bidders from using multi-stage auctions”. En: *Management Science* 34.9, págs. 1109-1120.
- [23] Estache, A. y Iimi, A. (2008). “Procurement Efficiency for Infrastructure Development and Financial Needs Reassessed”. En: *World Bank Policy Research Working Paper* 1.July. ISSN: 2008-022.
- [24] — (2009a). “(Un)bundling infrastructure procurement: Evidence from water supply and sewage projects”. En: *World Bank Policy Research Working Paper* 19.March, págs. 104-114. ISSN: 09571787.
- [25] — (2009b). “Joint bidding, governance and public procurement costs: a case of road projects”. En: *Annals of Public and Cooperative Economics* 1.80(3), págs. 393-429. ISSN: 13704788.
- [26] European PPP Expertise Centre (s.f.). URL: <http://www.eib.org/epec>.
- [27] Garrido, L., Gomez, J., Baeza, M. y Vassallo, J. (2017). “Is EU financial support enhancing the economic performance of PPP projects. An empirical analysis on the case of spanish road infrastructure”. En: *Transport Policy* 56, págs. 19-28.
- [28] Gobierno de Argentina (2018). *El Gobierno Nacional adjudicó las obras del primer proyecto de participación público privada*. URL: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/el-gobierno-nacional-adjudico-las-obras-del-primer-proyecto>.
- [29] Grimsey, D. y Lewis, M. (2007). “Public private partnerships and public procurement”. En: *Agenda* 14.2, págs. 171-188.
- [30] Hueskes, M., Verhoest, K. y Block, T. (2017). “Governing public-private partnerships for sustainability: An analysis of procurement and governance practices of PPP infrastructure projects”. En: *International Journal of Project Management* 35.6, págs. 1184-1195.
- [31] Infraestructure Ontario (s.f.). URL: <https://www.infrastructureontario.ca/en/>.

- [32] Jofre-Bonet, M. y Pesendorfer, M. (2003). “Estimation of a dynamic auction game”. En: *Econometrica* 71.5, págs. 1443-1489.
- [33] — (2014). “Optimal sequential auctions”. En: *International Journal of Industrial Organization* 33.1, págs. 61-71.
- [34] Kerf, M., Gray, R., Irwin, T., Levesque, C., Taylor, R. y Klein, M. (1998). *Concessions for infrastructure: a guide to their design and award*. The World Bank Group, pág. 132.
- [35] Khmel, V. y Zhao, S. (2016). “Arrangement of financing for highway infrastructure projects under the conditions of Public – Private Partnership”. En: *IATSS Research* 39, págs. 138-145. ISSN: 0386-1112.
- [36] Klein, M., So, J. y Shin, B. (1996). “Transaction Costs in Private Infrastructure Projects. Are They Too High?” En: *The View Point. The World Bank Group Note* n^o 95, págs. 1443-1489.
- [37] KPMG (2010). *PPP Procurement Review of Barriers to Competition and Efficiency in the Procurement of PPP Projects*. Inf. téc. May. Australia: KPMG, pág. 65.
- [38] Kumar, L., Jindal, A. y Velaga, N. (2018). “Financial risk assessment and modelling of PPP based Indian highway infrastructure projects”. En: *Transport Policy* 62, págs. 2-11.
- [39] Li, B., Akintoye, A., Edwards, P. y Hardcastle, C. (2005). “Critical success factors for PPP/PFI projects in the UK construction industry”. En: *Construction Management and Economics* 23 (5), págs. 459-471.
- [40] Liu, T., Wang, Y. y Wilkinson, S. (2016). “Identifying critical factors affecting the effectiveness and efficiency of tendering processes in Public–Private Partnerships (PPPs): A comparative analysis of Australia and China”. En: *International Journal of Project Management* 34.4, págs. 701-716.
- [41] Lunander, A. y Lundberg, S. (2012). “Combinatorial auctions in public procurement: experiences from Sweden”. En: *Journal of public procurement* 12, págs. 81-108. ISSN: 1535-0118.
- [42] Macario, R., Ribeiro, J. y Duarte-Costa, J. (2015). “Understanding pitfalls in the application of PPPs in transport infrastructure in Portugal”. En: *Transport Policy* 41, págs. 90-99.

- [43] Ministerio de Fomento (abr. de 2015). *Informe sobre el Sector de Autopistas de Peaje en España*. Inf. téc. Ministerio de Fomento, pág. 213. URL: <https://cpage.mpr.gob.es/producto/informe-sobre-el-sector-de-autopistas-de-peaje-en-espana-11/>.
- [44] Mochon, A. y Saez, Y. (2011). *Entendiendo las Subastas*. lulu.com.
- [45] — (2017). “A review of radio spectrum combinatorial clock auctions”. En: *Telecommunications Policy* 41.5. Optimising Spectrum Use, págs. 303-324. ISSN: 0308-5961.
- [46] Mochon, A., Saez, Y., Gomez-Barroso, J. e Isasi, P. (2012). “Exploring pricing rules in combinatorial sealed-bid auctions”. En: *Journal of Economic Behavior and Organization* 82.2, págs. 462-478. ISSN: 0167-2681. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2012.02.018>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167268112000418>.
- [47] Mochon, P., Mochon, A. y Saez, Y. (2022). “Combinatorial versus sequential auctions to allocate PPP highway projects”. En: *Transport Policy* 117, págs. 23-39. ISSN: 1879310X. DOI: 10.1016/j.tranpol.2021.12.015.
- [48] MOP Chile (2016). *Concesiones de Obras Publicas en Chile 20 Anos*. División de Estudios y Análisis Financiero, CCOP-MOP.
- [49] Myerson, R. (1981). “Optimal Auction Design”. En: *Mathematics of Operations Research* 6.1, págs. 58-73. ISSN: 0364765X, 15265471.
- [50] Osei-Kyei, R., Chan, A., Javed, A. y Ameyaw, E. (2017). “Critical success criteria for public-private partnership projects: international experts’ opinion”. En: *International Journal of Strategic Property Management* 21.1, págs. 87-100.
- [51] Pekeč, A. y Rothkopf, M. (2003). “Combinatorial Auction Design”. En: *Management Science* 49, págs. 1485-1503. ISSN: 0025-1909.
- [52] Ping, H. (2013). “The Routledge Companion to Public-Private Partnerships”. En: Routledge. Cap. Game theory and PPP, págs. 1-48.
- [53] Rassenti, S., Smith, V. y Bulfin, R. (1982). “A combinatorial auction mechanism for airport time slot Allocation”. En: *The Bell Journal of Economics* 13.2, págs. 402-417.
- [54] Riley, J. y Samuelson, W. (1981). “Optimal Auctions”. En: *The American Economic Review* 71.3, págs. 381-392. ISSN: 00028282. (Visitado 03-02-2023).

- [55] Rolski, T., Schmidli, H., Schmidt, V. y Teugels, J. (2009). *Stochastic processes for insurance and finance*. John Wiley & Sons.
- [56] Roumboutsos, A. (2015). *Public private partnerships in transport. Trends and theory*. The International Transport Forum, págs. 1-392.
- [57] Sanchez, A. y Gago de Santos, P. (2010). “Transaction Costs in Transport Public–Private Partnerships: Comparing Procurement Procedures”. En: *Transport Reviews* 30.3, págs. 389-406.
- [58] Sandholm, T. (2002). “An algorithm for optimal winner determination in combinatorial auctions”. En: *Artificial Intelligence* 135, págs. 1-54.
- [59] Sarmiento, J. y Renneboog, L. (2021). “Renegotiating public-private partnerships”. En: *Journal of Multinational Financial Management* 1.59.
- [60] Song, J. y Regan, A. (2003). “Combinatorial auctions for transportation service procurement: the carrier perspective”. En: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1883.1, págs. 40-46.
- [61] The World Bank (2017). “PPP Reference Guide version 3”. En: *Journal of World Business* 2, pág. 232.
- [62] The World Bank Group (2016). *Benchmarking PPP Procurement 2017*. URL: https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/sites/ppp.worldbank.org/files/2022-03/BenchmarkingPPPs2017_ExecSummary.pdf.
- [63] — (2017). *Guidance on PPP Contractual Provisions. 2017 Edition. The World Bank*. URL: <https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/library/guidance-ppp-contractual-provisions-2017-edition>.
- [64] — (2019). *Private Participation in Infrastructure (PPI). 2019 annual report*. URL: <https://ppi.worldbank.org/content/dam/PPI/documents/private-participation-infrastructure-annual-2019-report.pdf>.
- [65] — (2021). *PPI Database Global Report, 2021*. URL: <https://ppi.worldbank.org/en/ppi>.
- [66] Välilä, T. (jun. de 2020). “An overview of economic theory and evidence of public-private partnerships in the procurement of (transport) infrastructure”. En: *Utilities Policy* 62.

- [67] Verweij, S. (2015). “Achieving satisfaction when implementing PPP transportation infrastructure projects: a qualitative comparative analysis of the A15 highway DBFM project”. En: *International Journal of Project Management* 33.1, págs. 189-200.
- [68] Zhang, S., Chan, A., Feng, Y., Duan, H. y Ke, Y. (2016). “Critical review on PPP Research - A search from the Chinese and International Journals”. En: *International Journal of Project Management* 34.4, págs. 597-612.

Apéndices

Apéndices A

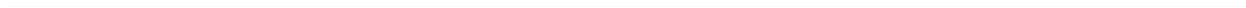
Listado de acrónimos

La Tabla A.1 muestra una lista de los acrónimos empleados y sus significados.

Tabla A.1: Acrónimos.

Acrónimo	Significado	Descripción
ANI	Agencia Nacional de Infraestructuras (Colombia).	Organismo público dependiente del gobierno de Colombia.
ANIF	Asociación Nacional de Instituciones Financieras de Colombia.	Entidad privada sin ánimo de lucro que se dedica a la investigación en temas de política económica y social en Colombia.
APP	Asociación Público Privada.	Acuerdo entre una autoridad pública y un socio privado, diseñado para ejecutar un proyecto y proporcionar el servicio de una infraestructura pública en un acuerdo a largo plazo.
COP	Peso colombiano	
INVIAS	Instituto Nacional de Vías.	Organismo público dependiente del gobierno de Colombia.
MUSD	Millones de dólares americanos.	
NHAI	National Highway Authority India.	Autoridad Nacional de Carreteras de India.
SPV	Special Purpose Vehicle.	Sociedad de propósito específico
UE	Unión Europea.	
USD	Dólares americanos.	
WDP	Winner Determination Problem.	Problema de determinación del ganador.
4G	Cuarta Generación de autopistas en Colombia.	Programa de Autopistas en régimen APP desarrollado por el gobierno colombiano.

Fuente: elaboración propia.



Apéndices B

Determinación del Valor Base

Ajustado

En este anexo se determina el valor de cada lote desde el que se partirá para aplicar el modelo de valoración (VB_j^A). Se han tomado como referencia los VB_j^{ANI} establecidos por la ANI para cada uno de los 9 lotes de la segunda ola 4G (ver Tabla 5.7), y se han analizado los resultados de las subastas realmente realizadas, para poder ajustar aquéllos y obtener los VB_j^A .

Se denomina como VB_j^{ANI} a cada uno de los Valores Base ANI definidos para cada uno de los 9 lotes ($j = 1, \dots, 9$), y VB_{total}^{ANI} a la suma $\sum_{j=1}^9 (VB_j^{ANI})$. Asimismo se define como VB_j^A a cada uno de los Valores Base Ajustados calculados para cada uno de los 9 lotes ($j = 1, \dots, 9$), y VB_{total}^A a la suma $\sum_{j=1}^9 (VB_j^A)$.

Como se ha indicado previamente, el VB_j^A es el valor que tendría cada lote para un teórico participante que tuviese una valoración neutra del mismo. De esta forma, se podrá aplicar el modelo de valoración a partir de este valor 'neutral', y representar adecuadamente la mayor o menor afinidad de cada participante respecto de cada lote o paquete.

Para hallar este valor, se parte de la oferta real que realizaron los 9 adjudicatarios de las subastas, y de la valoración media que éstos tienen de los lotes ganados, calculada aplicando el modelo de valoración que se detalla en los apartados previos de este capítulo.

Se ha calculado la media de los coeficientes $\Omega_{i,S}$ de todos los adjudicatarios reales, sobre los lotes que se adjudicaron, según la Ecuación 7.15 del Apartado 7.6, dando como resultado 102,57%¹.

El valor total de los importes por los que fueron adjudicados los 9 lotes de la segunda ola 4G fue de 2.458 *MUSD*, ver Tabla 5.7 (implica un descuento medio del 16,58% sobre el VB_{total}^{ANI}). Resolviendo una regla de tres inversa según la Ecuación B.1 se obtiene el valor de la suma de los valores medios teóricos por lo que hubieran sido adjudicados los 9 lotes, si la media de los coeficiente $\Omega_{i,S}$ de los participantes ganadores hubiera sido de 100%, en vez de del 102,57%.

$$VB_{total}^A = \frac{2.459MUSD \cdot 102,57\%}{100\%} = 2.522MUSD \quad (B.1)$$

Este valor total corresponde a descuento medio del 14,44% respecto del VB_{total}^{ANI} , que fue de 2.947 *MUSD*, ver Tabla 5.7. Por lo tanto, de media, un participante neutral habría presentado un descuento de 14,44% respecto del VB_j^{ANI} . Aplicando este descuento a cada uno de los VB_j^{ANI} se obtienen los VB_j^A , para cada uno de los lotes. Los participantes tenderán a ofertar mayores descuentos respecto de paquetes sobre los que tengan una valoración positiva, y al contrario respecto de los que tengan una valoración negativa.

Es importante resaltar que se ha utilizado el mismo valor para ajustar todos los lotes y escenarios, en las simulaciones de los dos tipos de subastas analizadas. Por lo tanto, este ajuste no tiene ningún efecto sobre las comparaciones entre un tipo de subasta y otro. El motivo del ajuste es el de acercar al máximo los resultados del modelo respecto al valor real

¹El ajuste se ha realizado utilizando el $\Omega_{i,j}$ de los participantes ganadores en el proceso real. Una descripción completa de cómo calcular $\Omega_{i,j}$ se presenta en el Apartado 7.6

de mercado.

Los valores VB_j^A utilizados en el modelo se establecen en *MUSD*, utilizando un tipo de cambio de 0,0003 *USD/COP*. La Tabla B.1 muestra los valores de VB_j^{ANI} y VB_j^A de cada lote.

Tabla B.1: Valor Base ANI y Valor Base Ajustado por lote.

Lote	VB_j^{ANI} (<i>MUSD</i>)	VB_j^A (<i>MUSD</i>)
2.1.	102	87
2.2.	162	139
2.3.	388	332
2.4.	298	255
2.5.	320	274
2.6.	441	377
2.7.	314	269
2.8.	455	389
2.9.	466	87
Total	2.947	2.522

Fuente: elaboración propia basada en información de la ANI.