



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos.  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



# Análisis socio-económico ex- post de la implantación del tranvía en Zaragoza mediante la metodología del Análisis Coste-Beneficio

Trabajo realizado por:  
*Daniel Vera Ovejas*

Dirigido:  
*Saúl Torres Ortega*  
*Rogelio Olavarri Fernández*

Titulación:  
**Máster Universitario en  
Ingeniería de Caminos, Canales y  
Puertos**

Santander, septiembre de 2016

**TRABAJO FINAL DE MÁSTER**





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y  
PUERTOS  
SANTANDER



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

Análisis socio-económico ex-post de la  
implantación del tranvía en Zaragoza mediante la  
metodología del Análisis Coste-Beneficio

**Alumno:** Daniel Vera Ovejas

**Tutores:** Saúl Torres Ortega y Rogelio Olavarri Fernández

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Santander, septiembre de 2016



## **RESUMEN**

### **"Análisis socio-económico ex-post de la implantación del tranvía en Zaragoza mediante la metodología del Análisis Coste-Beneficio"**

**Autor:** Daniel Vera Ovejas

**Directores:** Saúl Torres Ortega y Rogelio Olavarri Fernández

**Convocatoria:** Santander, septiembre de 2016

**Palabras clave:** Análisis Coste-Beneficio, análisis socio-económico, viabilidad, proyectos, inversión, indicador de rentabilidad, valoración monetaria, análisis de sensibilidad, análisis de riesgo, movilidad urbana, transporte público, tranvía, Zaragoza.

## **RESUMEN**

Zaragoza cuenta actualmente con una población de en torno a 700.000 habitantes y es la quinta ciudad más poblada de España. El notable crecimiento de la ciudad generó, ya desde la década de los noventa, la necesidad de plantear un soporte a la movilidad que garantizase una necesaria funcionalidad y una solución para el transporte público de la ciudad de Zaragoza.

Si en los años 60 y 70 el vehículo privado se convirtió en el "rey" de las ciudades, ahora el objetivo consistía en devolver esas ciudades a las personas. Por eso, las administraciones han trabajado de manera intensa en potenciar el transporte público frente al coche particular, así como en recuperar espacios para los peatones e introducir los últimos avances para mejorar la fluidez del tráfico. Múltiples han sido los estudios encargados por distintas instituciones. En todos los casos, con mayor o menor acierto, siempre llegaban a la conclusión de que Zaragoza era una ciudad adecuada para que el tranvía fuese su principal medio de transporte colectivo.

Es por este motivo que el Gobierno de Aragón y el Ayuntamiento de Zaragoza firmaron, en 2005, un protocolo general de colaboración para constituir un grupo de trabajo cuya finalidad fuera poner en marcha una línea tranviaria que uniera el norte con el sur de la ciudad de Zaragoza.

La movilidad urbana tiene una gran influencia en la organización y en los planes de desarrollo de las ciudades, así como en la calidad de vida de sus

ciudadanos. En la última década, Zaragoza ha experimentado una gran transformación como consecuencia de la Expo de 2008 y de la implantación del tranvía.

En abril de 2011 empezó la explotación del nuevo elemento de la movilidad urbana de Zaragoza: la línea 1 del tranvía de la ciudad. Esto supuso la implantación de la primera fase de la línea, aunque no fue hasta marzo de 2013 cuando se inauguró totalmente la línea (segunda fase). La novedad se ha convertido en un auténtico eje de transporte público que mueve diariamente a decenas de miles de viajeros. El tranvía ha supuesto la solución a la problemática de la movilidad en la ciudad, al ser un medio accesible, silencioso y cómodo. Además su implantación ha supuesto una profunda renovación urbana, tanto de las infraestructuras como de la superficie. Su puesta en servicio se ha traducido, asimismo, en una disminución en la intensidad del tráfico privado en el centro de la ciudad, con la consiguiente eliminación de coches del corazón de la ciudad.

La construcción e implantación del tranvía no solo ha tenido aspectos positivos, ya que además, ha supuesto una enorme inversión para la ciudad de Zaragoza y ha generado una controversia entre los ciudadanos. De forma previa a su construcción, y sobre todo durante las obras, se produjo el rechazo al proyecto por numerosos vecinos y colectivos de la ciudad. Es por este motivo que uno de los principales objetivos de este Trabajo Fin de Máster es indagar, en términos de viabilidad socio-económica, en una de las construcciones más polémicas que se han llevado a cabo en Zaragoza en los últimos años. De esta forma, se establece que el principal propósito del presente trabajo trata de responder a la pregunta de si la implantación del tranvía de Zaragoza es viable en términos socio-económicos.

Desde el punto de vista de la viabilidad, es pertinente evaluar los proyectos e intervenciones porque los recursos humanos y materiales son escasos, y cuando decidimos su asignación o empleo para una determinada actividad debemos hacerlo de acuerdo a criterios de utilidad y eficiencia. Para evaluar la eficiencia de un proyecto o intervención, el método estándar ha sido el Análisis Coste-Beneficio (ACB). Se trata por lo tanto de un procedimiento para evaluar el valor económico y social de programas, políticas y proyectos de inversión. La metodología del ACB proporciona apoyo en la valoración y toma de decisiones. De esta forma el concepto básico del ACB consiste en comparar todos los costes y beneficios asociados a un proyecto. Finalmente se emplea alguna regla de decisión para determinar la eficiencia del proyecto. Es por lo tanto que el método del Análisis Coste-Beneficio sirve para responder al principal objetivo de este Trabajo Fin de Máster.

A la principal finalidad de responder a la pregunta de si la implantación del tranvía de Zaragoza es viable en términos socio-económicos se puede decir que sí. En primer lugar, el estudio de los dos escenarios planteados, revela un resultado positivo del indicador de rentabilidad (VAN). Con el valor del VAN obtenido se debe de llevar a cabo la interpretación, y en este caso el VAN positivo indica que la inversión produce ganancias por encima de la rentabilidad exigida ( $r$ ). Por lo tanto el proyecto del tranvía de Zaragoza crea valor.

Por otro lado, el análisis de sensibilidad indica que solamente los parámetros críticos son la demanda de viajeros para el tranvía y la tarifa que se abona por el uso del mismo. Es evidente que estas dos variables sean críticas, ya que suponen el único ingreso económico para el consorcio del tranvía. Además tienen vital importancia, ya que son el mejor indicador del funcionamiento del servicio. Otras variables que tienen bastante afección sobre el indicador de rentabilidad, sin llegar a ser críticas, son la inversión inicial y la tasa de descuento a aplicar en los años futuros.

Otro de los objetivos era realizar un análisis probabilístico, de esta forma, se permitía tener en cuenta para el análisis un elevado número de escenarios aleatorios. De esta forma, se ha podido realizar un análisis que se ajuste en mayor medida a la variabilidad real de las variables consideradas. En nuestro caso se ha decidido llevar a cabo una simulación de 1000 casos aleatorios. Con la interpretación de los resultados se puede observar que en las 1000 simulaciones realizadas el valor del VAN es positivo, siendo el valor del VAN medio de 471.651.953 euros, por lo que a todas luces parece que ha sido muy interesante llevar a cabo el proyecto de inversión.

Además, durante la realización del trabajo, se han cumplido los objetivos de estudiar la metodología del Análisis Coste-Beneficio y del proyecto de implantación del tranvía de Zaragoza.



## **ABSTRACT**

### **"Ex-post socio-economic analysis of the implementation of the tramway in Zaragoza using the methodology of Cost-Benefit Analysis"**

**Author:** Daniel Vera Ovejas

**Directors:** Saúl Torres Ortega y Rogelio Olavarri Fernández

**Date:** Santander, september 2016

**Key Words:** Cost-Benefit Analysis, socio-economic analysis, viability, projects, investment cost, performance indicator, monetary valuation, sensitivity analysis, risk assessment, probabilistic risk analysis, urban mobility, public transport, tramway, Zaragoza.

## **ABSTRACT**

Zaragoza currently has a population of around 700.000 inhabitants and is the fifth most populated city in Spain. The remarkable growth of the city generated, since the nineties, the need to establish a support to urban mobility to ensure the functionality and provide a solution for public transport in the city of Zaragoza.

If in the 60s and 70s the private car became the "king" of cities, now the aim was to return those cities people. Therefore, administrations have worked intensively on strengthening public transport instead of private cars as well as recover spaces for pedestrians and introduce the latest advances to improve traffic flow. Multiple studies have been ordered by various institutions. In all cases, with more or less success, reports always came to the conclusion that Zaragoza was a suitable city for the tram was their main means of public transport.

It is for this reason that the Government of Aragón and Zaragoza City Council signed in 2005, a general cooperation agreement to form a working group whose aim was to launch a tramline to link the north and south of the city of Zaragoza.

Urban mobility has a great influence on the organization and the development of cities as well as in the quality of life of its citizens. In the last decade, Zaragoza has lived a major transformation as a result of the Expo 2008 and the implementation of the tram.

In April 2011 began the exploitation of the new means of public transport Zaragoza: the tram line 1. This involved the implementation of the first phase of the line, although it was not until March 2013 when the line (second phase) is fully opened. The novelty has become a real public transport corridor that moves daily to tens of thousands of travelers. The tram has made the solution to the problem of mobility in the city, being a transportation system accessible, quiet and comfortable. Besides its implementation it has led to a profound urban renewal, both of infrastructure and streets. Its start has also resulted in a decrease in the intensity of private traffic in the city center, with the consequent elimination of cars from the heart of the city.

The construction and implementation of the tram has not only had positive aspects, as has also been a huge investment for the city of Zaragoza and has generated controversy among citizens. Before its construction, and especially during construction, there was the opposition to the project by many residents and groups of the city. It is for this reason that one of the main objectives of this Master's Thesis is to investigate, in terms of socio-economic viability, in one of the most controversial buildings that have been taken place in Zaragoza in recent years. In this way, it is established that the main purpose of this paper tries to answer the question of whether the implementation of Zaragoza tram is viable in socio-economic terms.

From the point of view of the viability, it is appropriate to evaluate the projects and interventions because human and material resources are scarce, and when we decided assignment or employment for a certain activity should do so according to criteria of usefulness and efficiency. To evaluate the efficiency of a project or intervention, the standard method has been the Cost-Benefit Analysis (CBA). It is therefore a procedure for assessing the economic and social value of programs, policies and investment projects. CBA methodology provides support in the evaluation and decision-making. In this way the basic concept of CBA is to compare all costs and benefits associated with a project. Finally a decision rule is used to determine the project efficiency. It is therefore the method of Cost-Benefit Analysis helps answer the main objective of this Master's Thesis.

The primary purpose of answering the question of whether the implementation of Zaragoza tram is viable in socio-economic terms can say yes. First, the study of the two scenarios presented, reveals a positive performance indicator (ENPV). With the ENPV value obtained we must bring the interpretation, and in this case the positive ENPV indicates that the investment produces profits

---

above the required rate of return ( $r$ ). Therefore the Zaragoza tram project creates value.

On the other hand, the sensitivity analysis indicates that the only critical variables of the project are passenger transport demand for the tram and the fares which is payable by the use. It is evident that these two variables are critical, as they represent the only income for the consortium tram. They also have vital importance, as they are the best indicator of service performance. Other variables that have enough affection on the performance indicator, without being critical, are the initial investment cost and the discount rate to be applied in future years.

Another objective was to perform a probabilistic risk analysis, thus, were allowed to take into account the analysis a large number of random scenarios. In this way, it was possible to perform an analysis that conforms more to the real variability of the variables considered. In our case it has been decided to carry out a simulation of 1000 random cases. With the interpretation of the results it can be seen in the 1000 simulations the value of ENPV is positive, the value of the average VAN is 471.651.953 euros, so clearly seems to have been very interesting to carry out the project investment.

In addition, during the performance of work, aims to study the methodology of Cost-Benefit Analysis and project implementation tram Zaragoza have been met.



## ÍNDICE GENERAL

1	Introducción .....	1
1.1	Objetivos .....	2
2	El Análisis Coste-Beneficio .....	5
2.1	Conceptos teóricos previos .....	6
2.2	Tipos de ACB .....	7
2.3	Metodología básica del ACB.....	8
2.3.1	Identificación del proyecto.....	8
2.3.2	Definición de los parámetros básicos.....	10
2.3.3	Definición y estudio de los impactos.....	11
2.3.4	Valoración monetaria.....	13
2.3.5	Cálculo del indicador de rentabilidad .....	16
2.3.6	Análisis de sensibilidad .....	18
2.3.7	Análisis de riesgo .....	20
3	Caso de estudio del tranvía de Zaragoza .....	23
3.1	Antecedentes.....	24
3.1.1	Antecedentes históricos .....	24
3.1.2	Antecedentes técnicos .....	26
3.2	El proyecto .....	32
3.2.1	Características de la línea.....	33
3.2.1.1	Alimentación sin catenaria .....	36
3.2.1.2	Las paradas .....	37
3.2.1.3	Cocheras.....	38
3.2.2	Material rodante .....	39
3.2.3	Sinergias del proyecto .....	42
3.2.4	Valoración económica del proyecto .....	43

3.3	Estado anterior .....	44
3.4	Estado actual .....	44
4	Análisis Coste-Beneficio del proyecto .....	49
4.1	Identificación del proyecto .....	49
4.2	Definición de los parámetros básicos .....	51
4.2.1	El año de referencia .....	51
4.2.2	El horizonte temporal del análisis .....	51
4.2.3	La tasa de descuento .....	53
4.3	Definición, estudio y valoración monetaria de los impactos .....	53
4.3.1	Aspectos económicos .....	54
4.3.1.1	Gastos de inversión .....	54
4.3.1.2	Gastos de funcionamiento del sistema .....	54
4.3.1.3	Ingresos por uso del tranvía .....	58
4.3.1.3.1	Método#1. Datos oficiales .....	60
4.3.1.3.2	Método#2. Propuesta de asignación propia .....	62
4.3.2	Aspectos funcionales .....	66
4.3.2.1	Ahorro de tiempo de desplazamiento .....	66
4.3.2.2	Ahorro en costes de explotación del autobús urbano .....	71
4.3.3	Aspectos relacionados con el Tráfico .....	72
4.3.3.1	Afección al tráfico de vehículos .....	72
4.3.3.2	Afección a la accidentalidad en la ciudad .....	79
4.3.4	Aspectos Medio-Ambientales .....	83
4.3.4.1	Afección por ruido .....	83
4.3.4.2	Afección sobre contaminación atmosférica .....	88
4.3.5	Otros aspectos .....	90
4.3.5.1	Afección a las ventas de los comercios .....	90
4.4	Cálculo del indicador de rentabilidad .....	91
4.5	Análisis de sensibilidad .....	93

---

4.6	Análisis de riesgo .....	96
5	Conclusiones .....	103
6	Bibliografía .....	105
Anexo 1:	Código para el análisis de riesgo.....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valoración económica del proyecto - reparto.....	50
Tabla 2. Reparto de los gastos de inversión por fases y conceptos .....	50
Tabla 3. Distribución de los gastos de inversión en el tiempo .....	51
Tabla 4. Horizonte temporal del análisis por sectores (Tabla 2.1 - EC) .....	52
Tabla 5. Tasa de inflación de España de 2009 a 2015.....	53
Tabla 6. Gasto de mantenimiento anual de la infraestructura .....	55
Tabla 7. Gasto de mantenimiento anual de la superestructura .....	56
Tabla 8. Gasto general de explotación .....	56
Tabla 9. Gastos de funcionamiento (mantenimiento y explotación) .....	57
Tabla 10. Gasto del funcionamiento del sistema por fases.....	58
Tabla 11. Reparto de los gastos anuales de funcionamiento en función del año de estudio .....	58
Tabla 12. Demanda de viajeros anuales (previsión y dato real) .....	58
Tabla 13. Tarifas de uso del tranvía.....	59
Tabla 14. Distribución de viajeros respecto al título de transporte utilizado	61
Tabla 15. Repercusión económica de un solo viajero para el tranvía MÉTODO#1 .....	61
Tabla 16. Ingresos anuales por el uso del tranvía MÉTODO#1 .....	62
Tabla 17. Ingresos anuales por el uso del tranvía MÉTODO#2 .....	66
Tabla 18. Funcionalidad líneas de autobús y cálculo del ahorro de tiempo de desplazamiento .....	69
Tabla 19. Ahorro tiempo desplazamiento en función del año de estudio ....	69
Tabla 20. Valor del tiempo en función del modo de transporte y del motivo de viaje (EC, 2014) .....	70
Tabla 21. Valoración monetaria del ahorro de tiempo de desplazamiento ..	71
Tabla 22. Evolución del nº de km recorridos por el servicio de autobús urbano.....	71

---

Tabla 23. Costes de operación y mantenimiento del servicio de autobuses urbano.....	72
Tabla 24. Valoración monetaria del ahorro en costes de explotación del servicio de autobús urbano .....	72
Tabla 25. Capacidades viarias (sentido norte – sur) .....	73
Tabla 26. Capacidades viarias (sentido sur - norte).....	74
Tabla 27. Datos de tráfico para la ciudad de Zaragoza (estudio TomTom) .	75
Tabla 28. Evolución de la IMD.....	76
Tabla 29. Evolución de la IMD.....	77
Tabla 30. Evolución de la IMD.....	77
Tabla 31. Evolución de la IMD.....	78
Tabla 32. Valoración monetaria del aumento de tiempo de desplazamiento	79
Tabla 33. Evolución del nº de km de carril bici en la ciudad.....	80
Tabla 34. Datos de accidentalidad de la ciudad de Zaragoza .....	81
Tabla 35. Coste agregado de los accidentes de tráfico .....	82
Tabla 36. Valoración monetaria de la reducción de la accidentalidad.....	83
Tabla 37. Potencial de reducción de ruido (dBA) mediante la reducción del volumen de tráfico.....	84
Tabla 38. Reducción de tráfico y de ruido en la ciudad .....	86
Tabla 39. Valores monetarios de la modificación en la exposición al ruido por vivienda .....	87
Tabla 40. Exposición de las viviendas al ruido .....	88
Tabla 41. Valoración monetaria de la reducción por ruido .....	88
Tabla 42. Reducción de emisión de contaminantes atmosféricos .....	89
Tabla 43. Valor del coste de emisión de contaminantes .....	90
Tabla 44. Valoración monetaria de la reducción en emisiones contaminantes .....	90
Tabla 45. Valoración monetaria de pérdidas en los comercios.....	91
Tabla 46. Análisis de sensibilidad con los datos del Método#2 .....	95

Tabla 47. Resultados estadísticos de la simulación de Montecarlo (indicador: VAN) .....100

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Criterios de eficiencia económica (TORRES ORTEGA, 2016) ..... 7

Figura 2. Distribución, incorporación y monetización de los impactos..... 11

Figura 3. Zaragoza y su ubicación privilegiada ..... 23

Figura 4. Reparto accionarial del consorcio TRAZA ..... 31

Figura 5. Esquema de los actores del tranvía de Zaragoza ..... 32

Figura 6. Trazado de la línea 1 del tranvía de Zaragoza ..... 34

Figura 7. Valoración económica del proyecto – reparto (M€) ..... 43

Figura 8. Estado actual de la red de autobuses y tranvía de Zaragoza ..... 46

Figura 9. Estructura temporal del proyecto ..... 52

Figura 10. Bandas de demanda de viajeros..... 63

Figura 11. Coste de los accidentes de tráfico..... 82

Figura 12. Mapa de ruido de Zaragoza (2007)..... 85

Figura 13. Representación de la función de probabilidad de una variable aleatoria discreta uniforme ..... 98

Figura 14. Representación de la función de distribución de una variable aleatoria discreta uniforme ..... 98

Figura 15. Histograma de frecuencias, % simple y % acumulativo del VAN en la simulación de Montecarlo .....101

---

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo del indicador (VAN) .....	17
Ecuación 2. Fórmula para el cálculo del valor esperado más probable .....	21
Ecuación 3. Fórmula para calcular el ahorro de tiempo de viaje .....	67
Ecuación 4. Fórmula para calcular el ahorro de tiempo de espera.....	67

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Tracción animal en el tranvía de Zaragoza (finales siglo XIX) ...	24
Imagen 2. Tranvía en la facultad de Veterinaria (años cincuenta) .....	25
Imagen 3. El tranvía de Zaragoza a su paso por El Pilar .....	35
Imagen 4. Vista nocturna del tranvía de Zaragoza .....	35
Imagen 5. Tranvía sin catenaria en el Casco Histórico de la ciudad.....	37
Imagen 6. Marquesina del tranvía de Zaragoza .....	38
Imagen 7. Instalaciones del tranvía de Zaragoza.....	39
Imagen 8. Modelo Urbos 3 de CAF rodando por Zaragoza. ....	40
Imagen 9. Accesibilidad del tranvía .....	40
Imagen 10. Tranvías por las calles de Zaragoza (sin catenaria) .....	41
Imagen 11. Obras del tranvía en la plaza España .....	42
Imagen 12. Convivencia del tranvía con el autobús urbano .....	47



## 1 INTRODUCCIÓN

Zaragoza cuenta actualmente con una población de en torno a 700.000 habitantes y es la quinta ciudad más poblada de España. El notable crecimiento de la ciudad generó, ya desde la década de los noventa, la necesidad de plantear un soporte a la movilidad que garantizase una necesaria funcionalidad y una solución para el transporte público de la ciudad de Zaragoza.

Si en los años 60 y 70 el vehículo privado se convirtió en el "rey" de las ciudades, ahora el objetivo consistía en devolver esas ciudades a las personas. Por eso, las administraciones han trabajado de manera intensa en potenciar el transporte público frente al coche particular, así como en recuperar espacios para los peatones e introducir los últimos avances para mejorar la fluidez del tráfico. Múltiples han sido los estudios encargados por distintas instituciones. En todos los casos, con mayor o menor acierto, siempre llegaban a la conclusión de que Zaragoza era una ciudad adecuada para que el tranvía fuese su principal medio de transporte colectivo.

Es por este motivo que el Gobierno de Aragón y el Ayuntamiento de Zaragoza firmaron, en 2005, un protocolo general de colaboración para constituir un grupo de trabajo cuya finalidad fuera poner en marcha una línea tranviaria que uniera el norte con el sur de la ciudad de Zaragoza.

La movilidad urbana tiene una gran influencia en la organización y en los planes de desarrollo de las ciudades, así como en la calidad de vida de sus ciudadanos. En la última década, Zaragoza ha experimentado una gran transformación como consecuencia de la Expo de 2008 y de la implantación del tranvía.

En abril de 2011 empezó la explotación del nuevo elemento de la movilidad urbana de Zaragoza: la línea 1 del tranvía de la ciudad. Esto supuso la implantación de la primera fase de la línea, aunque no fue hasta marzo de 2013 cuando se inauguró totalmente la línea (segunda fase). La novedad se ha convertido en un auténtico eje de transporte público que mueve diariamente a decenas de miles de

viajeros. El tranvía ha supuesto la solución a la problemática de la movilidad en la ciudad, al ser un medio accesible, silencioso y cómodo. Además su implantación ha supuesto una profunda renovación urbana, tanto de las infraestructuras como de la superficie. Su puesta en servicio se ha traducido, asimismo, en una disminución en la intensidad del tráfico privado en el centro de la ciudad, con la consiguiente eliminación de coches del corazón de la ciudad.

La construcción e implantación del tranvía no solo ha tenido aspectos positivos, ya que además, ha supuesto una enorme inversión para la ciudad de Zaragoza y ha generado una controversia entre los ciudadanos. De forma previa a su construcción, y sobre todo durante las obras, se produjo el rechazo al proyecto por numerosos vecinos y colectivos de la ciudad. Es por este motivo que uno de los principales objetivos de este Trabajo Fin de Máster es indagar, en términos de viabilidad socio-económica, en una de las construcciones más polémicas que se han llevado a cabo en Zaragoza en los últimos años.

Desde el punto de vista de la viabilidad, es pertinente evaluar los proyectos e intervenciones porque los recursos humanos y materiales son escasos, y cuando decidimos su asignación o empleo para una determinada actividad debemos hacerlo de acuerdo a criterios de utilidad y eficiencia. Para evaluar la eficiencia de un proyecto o intervención, el método estándar ha sido el Análisis Coste-Beneficio (ACB). Se trata por lo tanto de un procedimiento para evaluar el valor económico y social de programas, políticas y proyectos de inversión. La metodología del ACB proporciona apoyo en la valoración y toma de decisiones. De esta forma el concepto básico del ACB consiste en comparar todos los costes y beneficios asociados a un proyecto. Finalmente se emplea alguna regla de decisión para determinar la eficiencia del proyecto. Es por lo tanto que el método del Análisis Coste-Beneficio sirve para responder al principal objetivo de este Trabajo Fin de Máster.

## 1.1 OBJETIVOS

A raíz de lo comentado anteriormente se plantea el objetivo principal del presente trabajo, y que no es otro que tratar de responder a la pregunta de si la implantación del tranvía de Zaragoza es viable en términos socio-económicos.

De forma más detallada, el desarrollo de este trabajo intentará a través de los distintos apartados del documento la consecución de los siguientes objetivos:

- Estudiar la metodología del ACB, con sus tipologías, aplicaciones, etapas, etc.
- Estudiar el proyecto de implantación del tranvía en Zaragoza, antecedentes, situación anterior y actual, características del proyecto, etc.
- Aplicación del método ACB al proyecto del tranvía. Buscando tres cosas:
  - Determinar la rentabilidad
  - Determinar las variables críticas
  - Realizar un análisis probabilístico

La estructura del trabajo comienza por definir, en primer lugar, en qué consiste un Análisis Coste-Beneficio. Se analizarán los conceptos teóricos previos así como los diferentes tipos de análisis que existen. Uno de los principales puntos de este apartado será establecer cuál es la metodología empleada a la hora de evaluar proyectos, políticas o planes según el ACB.

A continuación, se procederá a elaborar un marco general, tanto a nivel histórico como técnico, del tranvía de Zaragoza. Las características del proyecto, la línea del tranvía, el material rodante, así como una serie de antecedentes que abarcan distintos campos, desde aspectos económicos, históricos, a políticos, y que conseguirán que se conciba una idea general del proyecto, del estado anterior y del actual y de cuáles han sido las etapas que se han llevado a cabo a lo largo del mismo.

Finalmente, se procederá a la aplicación de la metodología del Análisis Coste-Beneficio a nuestro caso en concreto. De esta forma se hará una definición de los parámetros básicos del análisis, una definición, estudio y valoración monetaria de los impactos y se calculará un indicador de rentabilidad. Además se concluirá el ACB con un análisis de sensibilidad y de riesgo mediante el método de Montecarlo.



## 2 EL ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO

Para evaluar la eficiencia de un proyecto o intervención, el método estándar ha sido el Análisis Coste-Beneficio (ACB), basado en la comparación actualizada de la corriente de consecuencias esperadas o derivadas del proyecto o intervención a lo largo del tiempo, expresadas en unidades monetarias, con la de costes previstos o incurridos en su aplicación. El Análisis Coste-Beneficio es una herramienta analítica para juzgar las ventajas o desventajas económicas de una decisión de inversión mediante la evaluación de sus costes y beneficios con el fin de estimar el cambio que esta provoca en el bienestar. Se trata por lo tanto de un procedimiento para evaluar el valor social de programas, políticas y proyectos de inversión (Pearce, 1998). La metodología del ACB proporciona apoyo en la valoración y toma de decisiones (EC, 2002). De esta forma el concepto básico del ACB consiste en comparar todos los costes y beneficios asociados a un proyecto. Dicho análisis se basa en la búsqueda de una única unidad de medida en valor monetario para comparar los beneficios y costes. Además se emplea alguna regla de decisión para determinar la eficiencia del proyecto.

Desde el punto de vista económico, es pertinente evaluar los proyectos e intervenciones porque los recursos humanos y materiales son escasos, y cuando decidimos su asignación o empleo para una determinada actividad debemos hacerlo de acuerdo a criterios de utilidad y eficiencia. Es por este motivo que el empleo de esta metodología para la evaluación de proyectos se remonta a inicios del siglo XVIII. Es en 1708 cuando el Abad de Saint Pierre, académico francés, realiza un análisis de las consecuencias positivas y una estimación de los costes de la construcción y reparación de carreteras. Para la decisión emplea el argumento del beneficio y es en este momento cuando aparecen las primeras ideas acerca del análisis multicriterio. Posteriormente en 1808 Albert Gallatin, Secretario del Tesoro de los Estados Unidos, compara los costes con los ingresos como método de selección para los proyectos hidráulicos. En 1850 Jules Dupuit, ingeniero francés, define el modo en el que se deben de medir los ingresos y los gastos y aplica el criterio de que los ingresos deben de ser mayores que los gastos para la selección

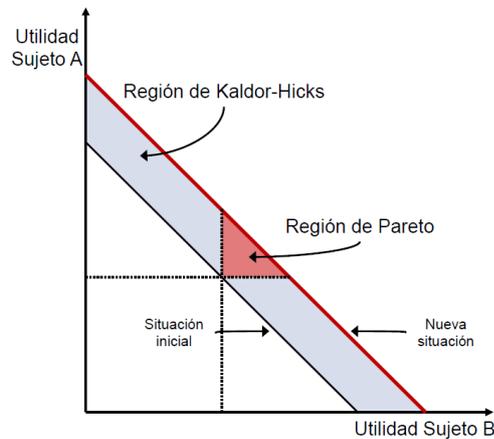
de proyectos. Es ya antes de la Segunda Guerra Mundial cuando esta metodología se desarrolla y el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos enuncia el criterio fundamental que deben de cumplir los proyectos hidráulicos para saber si se van a llevar a cabo o no: los beneficios de estos, cualesquiera que sean, y de quien quiera que se devenguen, deberán exceder a los costes estimados. A partir de la década de 1960 el uso de este sistema se extiende mucho y aparece como método de valoración medioambiental en Estados Unidos en el que se obliga que el ABC medioambiental aparezca en el planeamiento de los proyectos. En la actualidad su empleo se encuentra muy extendido hasta el punto de que la propia Unión Europea publica una Guía sobre el Análisis Coste-Beneficio de los proyectos de inversión.

## 2.1 CONCEPTOS TEÓRICOS PREVIOS

El marco analítico de la ACB se refiere a una lista de conceptos subyacentes que tienen su base en la Teoría del Bienestar. Se trata de una rama de las ciencias económicas y políticas que se preocupa de cuestiones relativas a la eficiencia económica y al bienestar social. Según la Teoría del Bienestar, los costes serían la cantidad máxima que estaríamos dispuestos a pagar por la utilidad que deja de obtenerse por no utilizar los recursos de nuestro proyecto en el mejor uso alternativo, y el valor monetario de las consecuencias sería la cantidad máxima que estaríamos dispuestos a pagar por disponer de lo que nos ofrece el proyecto.

Para poder determinar la eficiencia y la equidad de un proyecto se necesita un criterio que defina su aceptabilidad. Según esta Economía del Bienestar habría dos criterios para aceptar o no un proyecto, el criterio de Pareto y el de Kaldor-Hicks. Según el óptimo de Pareto serían justificables aquellos proyectos cuando todos ganan o al menos una persona gana y los demás no empeoran. Queda por lo tanto claro que la situación óptima de Pareto es la más recomendable. Sin embargo es bastante complejo tener situaciones en las que todo el mundo gane y nadie pierde. Se observa que en la mayoría de los proyectos intervienen diferentes grupos interesados (stakeholders) soportando algunos de ellos los costes del proyecto a costa de los beneficios que obtienen otros. De esta forma el criterio de Pareto es quizás muy exigente para la evaluación y por lo tanto aparecen otras pautas diferentes. El criterio dominante dentro del ACB es el de Kaldor-Hicks que establece que serían justificables aquellos proyectos cuyos beneficios compensan los costes, independientemente de quien soporta unos y otros. De esta forma pueden aparecer en el proyecto sujetos que experimenten cambios negativos en su utilidad mientras que otros experimenten cambios positivos. Se establece por lo

tanto un principio de compensación, según el cual, la nueva situación sería aceptable si los beneficiados pudieran compensar a los perjudicados. El criterio de Kaldor-Hicks no exige que la compensación se produzca efectivamente.



**Figura 1. Criterios de eficiencia económica (TORRES ORTEGA, 2016)**

## 2.2 TIPOS DE ACB

Dentro del Análisis Coste-Beneficio y en función del enfoque que tenga se debe diferenciar entre dos tipos:

- El Análisis Coste-Beneficio económico, en el que se contemplan todos los costes y las consecuencias de las intervenciones, valoradas según la disponibilidad a pagar, con independencia de su imputación al usuario o beneficiario, a la empresa o a otras instituciones. Se articula desde la óptica del inversor público, que busca la maximización del bienestar social.
- El Análisis Coste-Beneficio financiero, en la que se comparan los costes y consecuencias de dos o más alternativas, pero el cálculo del valor monetario de las consecuencias se limita a estimar a precios de mercado los cambios en los gastos y utilidades y determinar la rentabilidad financiera de cada alternativa para la empresa. Se articula desde la óptica del inversor privado e informa sobre la rentabilidad del proyecto. Es la evaluación privada empresarial más común (financial appraisal).

Además y respondiendo al momento en el que se realiza el análisis existen también otras dos tipologías:

- Evaluación ex-ante. Es la evaluación económica de un proyecto que vamos a realizar, para determinar su viabilidad económica
- Evaluación ex-post. Es la evaluación de una intervención ya ocurrida para estimar sus efectos económicos con relación a los costes que ha supuesto.

En el caso de estudio que nos ocupa, al tratarse de un proyecto de inversión pública que ya ha tenido lugar, vamos a utilizar el Análisis Coste-Beneficio económico ex-post.

## 2.3 METODOLOGÍA BÁSICA DEL ACB

Para la realización de un Análisis Coste-Beneficio de calidad se hace necesario seguir su marco conceptual, es decir, su metodología con las etapas que se deben seguir para la evaluación del proyecto.

Se exponen por lo tanto a continuación los 7 pasos que se consideran imprescindibles para abordar la realización de un ACB:

1. Identificación del proyecto
2. Definición de los parámetros básicos
3. Definición y estudio de los impactos
4. Valoración monetaria
5. Cálculo del indicador de rentabilidad
6. Análisis de sensibilidad
7. Análisis de riesgo

Cabe destacar que el número de etapas puede variar en función de la literatura consultada. Además estos pasos pueden ser ligeramente diferentes dependiendo del proyecto y del tipo de evaluación que se lleve a cabo.

Para profundizar más en esta metodología se presenta a continuación una visión más detallada de cada una de estas etapas.

### 2.3.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Para empezar a realizar un análisis coste-beneficio una de las primeras tareas que debemos de realizar es la de conocer perfectamente qué es lo que vamos a hacer. Para ello es importante que nos hagamos unas preguntas previas.

Una de estas cuestiones es saber si se va a realizar un ACB para un proyecto, para una política o para un plan. En función de la situación en la que nos encontremos el ACB es igualmente válido pero es necesario que quede perfectamente planteado ya que la tipología, el análisis y el desarrollo a realizar no serán exactamente iguales. También será muy importante conocer si vamos a realizar un análisis previo o posterior. El ACB será anterior (ex-ante) o posterior (ex-post) a la toma de decisiones y será igualmente válido, pero las implicaciones del análisis serán completamente diferentes.

En esta definición se busca por lo tanto realizar la completa descripción del proyecto. Esta identificación del proyecto incluirá la memoria descriptiva, la planificación de la ejecución, la asignación de los recursos necesarios para llevarlo a cabo etc. Además será muy importante llevar a cabo la descripción del contexto asociado. Es decir la descripción del área y de la población afectada. Se trata del contexto social, económico, político e institucional en el que se va a llevar a cabo el proyecto. Las características principales que se describen se refieren a:

- las condiciones socioeconómicas de la zona que son relevantes para el proyecto, incluyendo, por ejemplo, la dinámica demográfica, crecimiento esperado del PIB, las condiciones del mercado laboral, tendencia del desempleo, etc.
- las políticas institucionales y los aspectos, incluidas las políticas económicas existentes y los planes de desarrollo, la organización y gestión de los servicios que se prestarán por el proyecto, etc.
- la infraestructura y la prestación de servicios existente actualmente, datos sobre la cobertura y calidad de los servicios, costes de explotación actuales y tarifas pagadas por los usuarios, etc.
- otros datos y estadísticas que son relevantes para calificar mejor el contexto, por ejemplo, la existencia de factores ambientales, las autoridades ambientales que puedan estar involucradas, etc.
- la percepción y expectativas de la población con relación al servicio a prestar, etc.

Además para llevar a cabo un ACB completo sería necesario ver cuáles son las distintas opciones que se están barajando para permitir definir el área de estudio y su distinto nivel de afectación. Como se ha dicho anteriormente el Análisis Coste Beneficio es una herramienta en el proceso decisorio , por ello sería importante poder plantear y evaluar todas las opciones y alternativas que existen ,

incluyendo la situación base o alternativa cero que consiste en no hacer nada, para ver la aceptabilidad del proyecto.

### 2.3.2 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS BÁSICOS

En esta etapa se hace necesario definir una serie de parámetros básicos. Para la realización de un Análisis Coste-Beneficio es necesario adoptar una serie importante de parámetros que afectan al resultado final. Esto se debe básicamente a la existencia de incertidumbres que se producen al analizar consecuencias futuras que no se conocen y que hay que "predecir". Hay algunos de estos parámetros que por su importancia en el resultado final se deben de considerar como básicos. Los dos parámetros quizás más importantes a fijar en esta etapa son:

- el horizonte temporal del análisis
- la tasa de descuento a aplicar durante el proceso de cálculo del indicador de rentabilidad.

Entendemos por horizonte temporal del ACB al plazo de años que se tienen en cuenta para el análisis de los costes e ingresos producidos por el proyecto sometido a evaluación. Es decir, al periodo de años en el cual tendremos en consideración todos los efectos que se produzcan. Este valor tiene una cierta relación con el período de vida del proyecto.

El empleo de una tasa de descuento surge al tener que analizar inversiones cuyos beneficios serán obtenidos muchos años después del gasto inicial. Se trata por lo tanto de unir en un indicador único valores monetarios que suceden en momentos temporales distintos y que se deben de trasladar a un año de referencia común para todos ellos. El descuento no tiene que ver con la inflación (ese es otro efecto que, en su caso, habría que analizar). Esta tasa de descuento tiene que ver con dos factores que son la productividad del capital y las preferencias personales. El descuento supone sin embargo introducir en el análisis un punto de desequilibrio intergeneracional, puesto que no se valora de la misma forma el coste/beneficio actual que el de las generaciones futuras.

Otros parámetros básicos que sería interesante definir en esta etapa serían:

- la tipología de descuento
- el año de referencia
- los parámetros intrínsecos al proyecto
- los parámetros intrínsecos a los impactos

### 2.3.3 DEFINICIÓN Y ESTUDIO DE LOS IMPACTOS

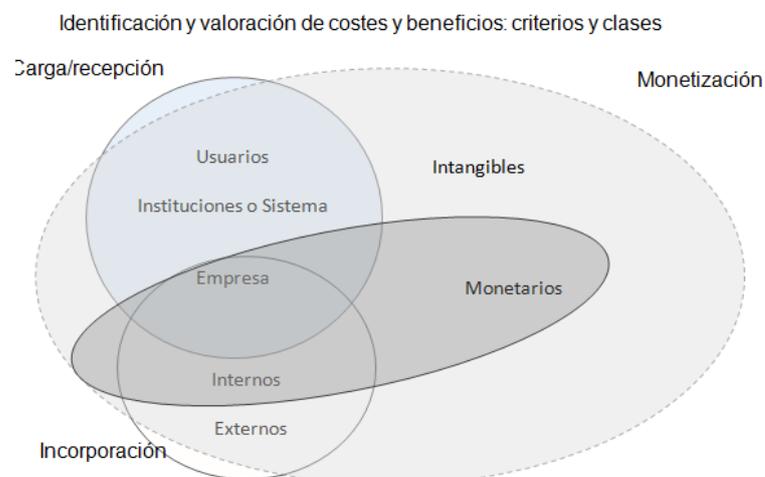
Las primeras etapas que se han llevado a cabo son la identificación del proyecto y la definición de los parámetros básicos para poder realizar el Análisis Coste-Beneficio. La tarea que ahora se debe de llevar a cabo es la de identificar aquellos impactos que se derivan de la realización del proyecto. El procedimiento consiste en realizar un inventario de los recursos sacrificados o consumidos y de las consecuencias. Esta identificación de los aspectos positivos (beneficios) y negativos (costes) se divide en dos pasos muy importantes:

- identificación de todos los impactos que se pueden producir
- selección de los impactos que resultan relevantes para después cuantificarlos monetariamente en las siguientes etapas.

En este primer paso de esta etapa se debe enumerar y tener en consideración en una primera aproximación todos aquellos efectos que afecten al entorno del proyecto, tanto en su fase de puesta en marcha y ejecución, como a más largo plazo durante la explotación. La clasificación de los costes y los beneficios es una condición previa que nos facilita el ejercicio de inventario que nos permitirá identificar estos impactos.

Las clasificaciones reflejan el enfoque perspectivo que se quiere destacar en la evaluación económica:

- distribución y transferibilidad
- incorporación o imputación
- monetización



**Figura 2. Distribución, incorporación y monetización de los impactos**

La primera de las clasificaciones se basa en la distribución de los costes y consecuencias de un proyecto o intervención entre los distintos grupos interesados en la misma (stakeholders):

- la empresa
- los usuarios
- las instituciones públicas o sociales

Por tanto, al evaluar los costes y beneficios de un proyecto, necesitamos establecer el sujeto que carga con los costes y percibe los beneficios (que incluso puede ser distinto), para en su caso, conocidas las transferencias entre sujetos, poder determinar las posibles compensaciones.

Una segunda clasificación tradicional trata de cómo se incorporan los costes y las consecuencias en la intervención. En este caso se habla de costes y beneficios internos y externos (externalidades). Internamente, se catalogan los costes del proyecto o intervención como costes de inversión y operativos (estos últimos, también llamados costes de explotación o de gestión) y el valor monetario de las consecuencias se agrupa en dos categorías, los costes evitados y los incrementos en ingresos o rendimiento.

La tercera y última de las clasificaciones tradicionales se basa en la mayor o menor dificultad de medición y el grado de monetización de costes y consecuencias, diferenciando las partidas cuantificables frente a las intangibles, y entre las primeras, las que están inmediatamente monetizadas y las que no. La valoración monetaria de los impactos será una de las siguientes etapas del método ACB.

A la hora de realizar este primer paso aparece el problema importante de la escasa información disponible. Los problemas pueden surgir porque los precios de mercado no reflejen el equilibrio social. Debemos tener en cuenta que en la evaluación de proyectos de inversión en la empresa privada sólo se consideran los ingresos y los gastos contabilizados y pagados o devengados. Sin embargo, para el análisis de los proyectos de inversión pública se deben tener en cuenta además otros costes y beneficios sociales e indirectos. Una forma de solucionar este problema es la de contabilizar monetariamente todos los costes y consecuencias que la intervención ha generado interna o externamente para la administración, incluyendo los costes que no se pagan o los beneficios que aporta, pero por los cuales no recibe compensación (unos y otros son externalidades para la administración y por lo tanto del proyecto). Otra forma de solucionar este problema es contabilizar los bienes sacrificados u obtenidos en el proyecto según los precios

correspondientes al equilibrio en una situación de bienestar social óptimo, que recogiese todos los sacrificios y utilidades que el proyecto supone para la sociedad.

Una vez que se han definido todos los impactos, se debe de llevar a cabo el segundo paso que es el de indicar cuál de estos impactos son relevantes. En este momento se hace necesario realizar la siguiente pregunta: ¿cuáles de estos impactos son realmente relevantes para nuestro estudio?. Uno de los motivos por los que se establece la necesidad de limitar el número de impactos, se debe a que hay impactos que aun existiendo no aportan un elemento diferenciador al análisis y por tanto a la toma de decisiones. Para saber si un impacto es relevante nos podemos fijar en lo enunciado por Pearce en 2006, "cualquier ganancia o coste que se produzca por una política o proyecto, independientemente de a quién afecte o quién lo devengue, o en qué momento del proyecto ocurra, debe ser considerado en el ACB". De estas frases se podría deducir por lo tanto que un impacto es relevante si afecta al menos a una persona. Sin embargo identificar cuál de estos impactos son relevantes es un problema bastante importante ya que los valores de utilidad no se negocian en mercados definidos. No existe un precio de referencia que se pueda emplear para saber su valor, por lo que lo fácil, en estos casos, es no considerar esos impactos y omitirlos del análisis pese a que sean realmente relevantes.

### **2.3.4 VALORACIÓN MONETARIA**

En las etapas anteriores de la metodología del Análisis Coste-Beneficio se ha preparado una lista de los impactos que son relevantes en nuestro proyecto y que se van a evaluar. El paso que nos atañe ahora es el de valorar monetariamente estos impactos. Esta tarea se lleva a cabo para poder comparar los efectos que suponen los impactos analizados. Para ello es necesario contar con una medida homogénea e imparcial. El ACB opera con magnitudes monetarias y, con esta finalidad, se han desarrollado procedimientos de evaluación monetaria de los diversos impactos. El dinero posee en términos económicos diferentes funciones, pero la que más nos interesa para la metodología del Análisis Coste-Beneficio es que se emplea como unidad de medida. Llegados a este punto es conveniente señalar que en la valoración monetaria estamos bajo una cierta incertidumbre, debido a que no se puede asegurar que un determinado impacto va a producirse con la magnitud que se va a considerar y que además tampoco se conoce el momento exacto en el que este impacto puede producirse. Por este y por otros

motivos traducir el valor de un impacto a unidades monetarias no es sencillo y aparecen tres problemas importantes.

El primero de ellos es que el valor de los impactos debe medirse en unidades monetarias constantes y homogéneas, independientes del tiempo en el que el flujo se espera que ocurra, por lo que se deberá predecir el valor de los bienes afectados en el futuro. Aparece por lo tanto, como ya se ha indicado, una cierta incertidumbre sobre el valor que ese impacto experimentará en el futuro ya que depende de diferentes factores. Se hace por lo tanto interesante tratar con especial cuidado la valoración monetaria de estos impactos.

El siguiente de los problemas con los cuales se debe tener cierta cautela es a la hora de emplear precios de mercado para aquellos bienes que cotizan en uno de esos mercados. Estamos por lo tanto hablando de impactos que tienen precios accesibles en mercados de bienes y servicios. Al obtener los valores de un bien según los precios de mercado actuales se puede estar introduciendo un error que afectará en el futuro del horizonte temporal de nuestro análisis.

El tercer, y posiblemente el mayor problema, es que no siempre se tiene un mercado que nos proporcione el valor de un determinado bien. Se trata generalmente de los costes y beneficios intangibles, como pueden ser los efectos sobre naturaleza, el medio ambiente, el bienestar de los ciudadanos y su salud y no encuentran una valoración en el mercado. Se trata por tanto de lo conocido como la valoración de intangibles. Estos bienes intangibles no se intercambian en mercados definidos y la determinación de su precio no se puede realizar de una forma clara. Sin embargo esto no implica que no tengan un valor económico.

La valoración de los impactos no internalizados por los mercados es un elemento clave del enfoque del ACB. Para ello, se utilizan diversos procedimientos de valoración que veremos a continuación. El Análisis Coste-Beneficio convencional ha desarrollado un conjunto de procedimientos para evaluar estas externalidades, los fundamentales son los métodos de valoración de activos (teoría del capital humano) y los métodos de valoración directa e indirecta.

La teoría del capital humano se basa, por ejemplo, en que el valor monetario de una vida humana salvada en un proyecto de una nueva infraestructura viaria, se estima como la diferencia entre el valor actual de la corriente de rentas o salarios que iba a percibir el trabajador en su ciclo de vida activa, (se supone que la remuneración es indicativa de su aportación productiva a la sociedad), menos el valor actual de la corriente de consumos anuales que iba a realizar. Es por lo tanto

considerar el valor, para la sociedad, de la vida de un individuo como su producción potencial futura, medida por el valor actual de la corriente de ingresos salariales esperados durante su vida. Este método deja fuera de la valoración dimensiones intangibles como pueden ser el sufrimiento y el dolor de las familias. Sin embargo este método encuentra mucho más apoyo del que cabría esperar pese a sus deficiencias. En el sistema judicial se utiliza una aplicación parcial de este método para las compensaciones (además de los costes sanitarios y reposición de daños causados) se estima sólo el valor actual de lo que se deja de ganar (equivalente a la suma de los salarios que se hubieran ganado en los días perdidos, o en el caso de muerte, de seguir vivo).

En cuanto a los métodos de valoración directa cabe indicar que estos se basan en las preferencias declaradas. Estas preferencias declaradas se observan en mercados hipotéticos donde aparece la disponibilidad a pagar por el intangible mediante la valoración contingente. La evaluación contingente se basa en una idea muy sencilla: para saber cuánto están dispuestas a pagar las personas por ciertas características de su entorno basta con preguntárselo. Para ello se utilizan las técnicas de encuesta para estimar una curva de demanda potencial. Obviamente, exige familiaridad de los entrevistados con los impactos a analizar. La forma de obtener esta información es generalmente mediante encuesta y existen multitud de tipos y de formas diferentes de encuestas para este fin. Un buen cuestionario para la valoración contingente debe contener:

- descripción clara del activo a valorar por el encuestado, especificando perfectamente el contexto y el cambio propuesto.
- un conjunto de preguntas que cataloguen al entrevistado en función de su nivel de renta y situación socioeconómica, lugar de residencia, edad, etc.
- una serie de preguntas sobre actitud y comportamiento acerca del activo a valorar para poder revelar los factores que luego afectan a la valoración que realiza el entrevistado.
- una pregunta o conjunto de preguntas con las que se pretende obtener la información relativa acerca de la disponibilidad a pagar por el activo que se analiza
- las encuestas pueden ser personales, telefónicas, por correo, por internet, experimentos de laboratorio...

Los métodos de valoración indirecta se refieren a las preferencias reveladas. Para obtener esta información se utiliza el método del coste de viaje, el método de

los precios hedónicos y las preferencias individuales dinero-intangible observadas en los mercados de trabajo. El método del coste de viaje estima el valor de un activo, que no se intercambia en un mercado definido, a través de la observación de los costes de acceso al activo en análisis. Consiste en estimar el valor que un individuo asigna al activo, teniendo en cuenta el precio implícito en la visita, costes de desplazamientos, acceso, estancia... Esta estimación se realiza mediante técnicas de encuesta sobre comportamientos. El método de los precios hedónicos estima el valor de un activo, que no se intercambia en un mercado definido, a través de la observación del mercado de un bien que esté implícitamente relacionado. Las preferencias individuales dinero-intangible observadas en los mercados de trabajo se basan en la teoría de las diferencias salariales compensatorias. Un método clásico de aproximación al valor que los individuos dan a la vida en el trabajo es observar el incentivo salarial que reciben (cobran) por ponerlas en peligro, cuando aceptan puestos de trabajo con determinado grado de riesgo. Los individuos, al asumir una situación de riesgo a cambio de una diferencia salarial compensatoria, están revelando su mayor o menor aversión hacia el riesgo (su preferencia por la seguridad) y el valor que dan a su vida. Esta teoría afirma que, a igualdad de las demás condiciones productivas, cuanto más peligroso sea un trabajo, mayor será el salario que le corresponda y, en consecuencia, podemos estimar el valor que los individuos dan a su vida a partir de las diferencias salariales que compensan el riesgo de muerte de cada empleo.

### **2.3.5 CÁLCULO DEL INDICADOR DE RENTABILIDAD**

Llegados a este punto ya se poseen todos los impactos cuantificados y expresados en una misma unidad de medida. La siguiente etapa consiste en calcular un indicador que permita calcular la rentabilidad del proyecto bajo análisis. Este indicador puede ser cuantitativo o adimensional, sin embargo a pesar de la posibilidad de aplicar otros indicadores, es común en la realización del Análisis Coste-Beneficio recurrir al empleo del Valor Actualizado Neto (VAN) como indicador de referencia. El VAN permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) los flujos de caja futuros y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial.

La expresión matemática que se emplea es la siguiente:

**Ecuación 1. Fórmula para el cálculo del indicador (VAN)**

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1+r)^i}$$

siendo  $I_0$  el desembolso inicial,  $F_i$  representa a los flujos de caja en el periodo  $i$  (se calcula como la diferencia entre los ingresos  $b_i$  y los costes  $c_i$ ), por último  $r$  representa la tasa de interés.

Una vez obtenido el valor del VAN se debe de llevar a cabo la interpretación del valor obtenido, en función de la creación o no de valor por el proyecto:

- $VAN > 0$ : significa que la inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida  $r$ . La decisión a tomar sería la de que el proyecto puede aceptarse.
- $VAN < 0$ : tiene un significado de que la inversión produciría pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida  $r$ . El proyecto debería rechazarse.
- $VAN = 0$ : en este caso la inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas. Por lo tanto, dado que el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida, la decisión debería basarse en otros criterios.

El empleo del VAN plantea diferentes ventajas para analizar la rentabilidad de proyectos, y estas pueden ser las siguientes:

- proporciona una medida de la rentabilidad de un proyecto
- sirve como criterio de ordenación de alternativas
- puede ser empleado como criterio de selección, estableciendo un umbral de rentabilidad mínimo a mantener por el proyecto a evaluar
- su cálculo sólo requiere de operaciones simples
- contabiliza la variación del valor del dinero en el tiempo
- su uso y su entendimiento es extendido.

El Valor Actualizado Neto se trata de un indicador dimensional (está expresado en unidades monetarias), por lo que a menudo el cálculo del mismo se acompaña con el uso de otros indicadores que son adimensionales. Estos indicadores adimensionales pueden ser la Tasa Interna de Retorno o el Ratio Coste/Beneficio.

La Tasa Interna de Retorno o Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) es la tasa de descuento con la que el Valor Actualizado Neto es igual a cero. La TIR puede utilizarse como indicador de rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR mayor

rentabilidad. Se emplea por lo tanto como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto. Para ello, la TIR se compara con la tasa de interés. Si la tasa de rendimiento del proyecto, expresada por la TIR, supera la tasa de interés, se acepta la inversión y en caso contrario se rechaza.

La Relación Coste/Beneficio es el cociente de dividir el valor actualizado de los costes entre el valor actualizado de los beneficios del proyecto. Los beneficios actualizados son todos los ingresos actualizados del proyecto y los costes actualizados son todos los egresados actualizados. Como criterio de decisión se emplea que un proyecto es aceptable si el valor de la Relación Coste/Beneficio es inferior a 1. Al obtener un valor igual a 1 significa que la inversión inicial se recuperó satisfactoriamente después de haber sido evaluada a una tasa determinada, y quiere decir que el proyecto es viable. Si el resultado es mayor a 1 el proyecto no presenta rentabilidad, ya que la inversión del proyecto jamás se podrá recuperar en el período establecido que se evalúa.

### 2.3.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Todas las etapas que se han llevado a cabo anteriormente nos han servido para obtener la idoneidad o no de realizar un determinado proyecto en función del resultado obtenido por un indicador. Para calcular el VAN se han utilizado los valores disponibles en el momento de análisis. Sin embargo, estos datos pueden variar y el resultado obtenido podría ser muy diferente. Como ya se ha comentado anteriormente todo el proceso del Análisis Coste-Beneficio está rodeado de cierta incertidumbre. Existen infinidad de factores que pueden afectar a cada uno de los datos que se han recogido para la realización del ACB. En los procesos ex-ante ninguna de las predicciones que se realizan sobre muchos de los datos tienen una fiabilidad del 100%. Sin embargo para los procesos ex-post se toman datos que se conocen realmente, datos de los años anteriores, pero también se estiman datos sobre acontecimientos que van a producirse en el futuro, lo que implica que también tenemos incertidumbre en este proceso. Es por ello, que una etapa fundamental a introducir en el Análisis Coste-Beneficio debe ser la del análisis de sensibilidad, que busca analizar como la variabilidad de todos esos parámetros puede afectar al resultado final obtenido.

El análisis de sensibilidad permite determinar las variables o parámetros críticos de un modelo. Esas variables serán aquellas cuya variación, positiva o negativa, tiene un alto impacto sobre el resultado final de la evaluación del proyecto.

El análisis de sensibilidad se realiza variando una a una las variables o parámetros y determinando el efecto del cambio sobre el indicador final de rentabilidad (VAN).

El criterio que se adopta para la determinación de las variables críticas puede variar, pero como norma general la recomendación es considerar como variables críticas aquellas cuya variación de un 1% con respecto a su valor más probable se traduce en un cambio de al menos un 1% en el indicador de rentabilidad.

A continuación se ilustran las etapas del procedimiento que deberán seguirse para efectuar un análisis de sensibilidad:

- Identificación de variables: Determinar todas las variables utilizadas para calcular el indicador en el análisis, agrupándolas por categorías homogéneas. Las categorías son:
  - Precios
  - Demanda
  - Costes de inversión
  - Costes de operación
  - Precios de los productos
  - Precios contables
  - Parámetros de los costes y beneficios
- Eliminación de las variables dependientes: Las variables dependientes pueden introducir distorsiones en el resultado así como un problema de doble contabilidad. Si, por ejemplo, se analiza la productividad laboral y la productividad global, la segunda, obviamente, incluye a la primera. En este caso sería necesario eliminar las variables redundantes, eligiendo las realmente más significativas, o modificar el modelo para eliminar las relaciones internas. Las variables a considerar deben ser, siempre que se pueda, variables independientes. El análisis debe hacerse de la forma más desagregada posible (por ejemplo, ingreso es una variable compuesta: tanto la cantidad como el precio pueden ser críticas).
- Análisis de elasticidad: Es recomendable realizar un análisis cuantitativo previo para analizar el impacto de las variables para así seleccionar aquellas con una baja elasticidad marginal. Así, el análisis se puede limitar a aquellas que resulten más significantes, analizando su elasticidad con los cálculos correspondientes. En cada caso será necesario determinar los valores máximo y mínimo del análisis, así como

las diferencias (absolutas y en porcentaje) sobre el indicador de rentabilidad.

- Determinación de las variables críticas: Al final del proceso se tendrá una selección de las variables críticas del modelo (presumiblemente un número pequeño de ellas).

El análisis de escenarios es un caso particular de un análisis de sensibilidad. Mientras que en el caso general se analiza cada una de las variables por separado, en el análisis de escenarios se estudia el impacto combinado de un conjunto de variables críticas. En particular, se recurre a casos "optimistas" y "pesimistas", agrupando las variables en función de estos criterios. Para realizar esto es necesario elegir para cada una de las variables críticas los valores extremos de las mismas en función de su distribución más probable. Una vez hecho esto, se calcula el resultado del indicador de rentabilidad para cada uno de los escenarios.

### 2.3.7 ANÁLISIS DE RIESGO

El análisis de riesgo consiste en el estudio de la probabilidad que tiene un proyecto de llevarse a cabo de una forma satisfactoria (en cuanto a su rentabilidad). La probabilidad debe ser entendida aquí como un índice que toma el valor uno cuando se tiene la certeza absoluta, cero cuando la certeza de la predicción no está confirmada, y valores intermedios para cualquiera del resto de las situaciones posibles. Para llevar a cabo este análisis de riesgo, una vez hecho el análisis de sensibilidad, se deben desarrollar las siguientes etapas:

- Distribución probabilística de las variables críticas: En esta etapa es necesario asignar una distribución de probabilidad a cada una de las variables críticas, definiendo el rango de valores en el que se moverá alrededor de la mejor estimación, con el fin de calcular los valores esperados. La distribución de probabilidad se puede obtener de diferentes fuentes, tanto experimentales como de literatura científica.
- Análisis del riesgo: Toda vez que se tiene la distribución probabilística de las variables del modelo, se puede calcular la distribución de probabilidad del indicador de rentabilidad del proyecto. Es común recurrir al **Método Montecarlo** para realizar esta etapa.
- Evaluación de los niveles de riesgo aceptables: el proceso seguido nos permite ahora vincular un dato del indicador de rentabilidad con la probabilidad de ocurrencia asociada al mismo, con lo cual la toma de

---

decisiones se puede realizar no sólo en función del valor del indicador, sino de su probabilidad, así como de su valor esperado más probable.

***Ecuación 2. Fórmula para el cálculo del valor esperado más probable***

$$\text{Valoresperado} = \sum \text{valor} \cdot \text{probabilidad}$$

- Mitigación del riesgo: Por último, se pueden llevar a cabo acciones para reducir la incertidumbre del resultado final. Uno de los errores más comunes a la hora de realizar un análisis de inversión es el optimismo. El análisis de riesgo nos puede ayudar a reducir los niveles de optimismo en futuros análisis.



### 3 CASO DE ESTUDIO DEL TRANVÍA DE ZARAGOZA

Hablar de Zaragoza quizás vaya ligado a hablar de tranvías. Zaragoza es una ciudad tranviaria. *"El 23 de enero de 1976 fue el último día en el que circularon tranvías de forma regular en España, siendo la ciudad de Zaragoza el último bastión de este medio de transporte público"* (AZAFT, 2012). Sin embargo el tranvía volvió a surcar las calles zaragozanas a partir de marzo de 2011 con la inauguración de la primera fase de la línea 1 del tranvía. Esta fecha marca por lo tanto el fin de un periodo de 35 años sin este transporte en la ciudad.

Zaragoza, con una población de en torno a 700.000 habitantes, es la quinta ciudad más poblada de España, tras Madrid, Barcelona, Valencia y Sevilla. La ciudad concentra a más del 50% de los habitantes de la Comunidad Autónoma de Aragón. Zaragoza tiene una privilegiada situación geográfica y la convierte en un importante nudo logístico y de comunicaciones. La ciudad se encuentra a unos 300 km. de Madrid, Barcelona, Valencia, Bilbao y Toulouse en Francia lo que refuerza ese carácter logístico y vertebrador ya mencionado.



**Figura 3. Zaragoza y su ubicación privilegiada**

El notable incremento de la movilidad en la ciudad de Zaragoza y entre ella y los municipios que la rodean, debido al continuo crecimiento económico y de población que tuvo lugar en Zaragoza a finales del siglo XX y principios del XXI, dio

lugar a la necesidad de plantear un soporte a la movilidad que garantizase una necesaria funcionalidad.

Es por este motivo que el Gobierno de Aragón y el Ayuntamiento de Zaragoza firmaron, en 2005, un protocolo general de colaboración para constituir un grupo de trabajo cuya finalidad fuera poner en marcha una línea tranviaria o de metro ligero que uniera el norte con el sur de la ciudad de Zaragoza.

## **3.1 ANTECEDENTES**

### **3.1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

Como ya se ha comentado anteriormente Zaragoza es una ciudad tranviaria. La inauguración se produjo en el año 1885 y se empleaba la tracción animal, en aquella época con el uso de 12 caballos. *"La red de tranvía siempre gozó de una gran aceptación popular"* (AZAFT, 2012). La expansión de la ciudad fue emparejada con la ampliación de la red de tranvías, sirviendo esta última como vertebradora de los barrios de nueva creación. Fue a finales del siglo XIX cuando la empresa gestora de los tranvías cambio de manos. La familia Escoriaza y Basilio Paraíso se hicieron con el control mayoritario de la empresa lo que provocó un fuerte impulso a la red.



***Imagen 1. Tracción animal en el tranvía de Zaragoza (finales siglo XIX)***

Fue en 1900 cuando la ciudad alcanzó los 100.000 habitantes y en 1902 cuando se produjeron las primeras pruebas con tranvías eléctricos. En estos años por lo tanto se electrificaron las líneas lo que supuso un cambio de vías y una

renovación del parque móvil de tranvías. El transporte ganó en rapidez y los precios se abarataron. Fue en las primeras décadas del siglo XX cuando la red llegó a contar con su máximo apogeo. En estos años se contaba hasta con 16 líneas de tranvía, siendo la compañía Los Tranvías de Zaragoza S.A. un modelo de eficacia en la gestión de la red. Como ya se ha dicho antes, sus directivos, pertenecientes a la familia zaragozana de los Escoriaza, estaban en conexión directa con la factoría de Zaragoza de Material Móvil y Construcciones, que probaba en la red zaragozana todos los modelos que luego vendía a las diferentes redes de otras ciudades. Llegó un momento en que la flota estaba compuesta por más de 200 tranvías repartidos en diferentes series.

También en las primeras décadas del siglo XX se produjo la aparición de los vehículos particulares. Por ejemplo en el año 1912 se llegó a la matrícula 100 en Zaragoza y el año 1919 fue cuando apareció la primera gasolinera. En la década de los veinte Zaragoza cuenta ya con 1.000 automóviles matriculados y el Ayuntamiento crea un nuevo servicio de guardias de circulación. Durante estas primeras décadas del siglo XX también continuó el desarrollo del tranvía y el número de líneas fue aumentando.



**Imagen 2. Tranvía en la facultad de Veterinaria (años cincuenta)**

Ya en la década de los cincuenta fue cuando apareció la llegada del trolebús y la irrupción del servicio de autobuses. También en estos años se creó la cooperativa de auto taxi y la última línea de tranvía.

Es en la década de los sesenta cuando en España comienza el declive de las redes tranviarias. El nacimiento de Pegaso, apoyado por Franco, y el aumento de los vehículos privados en circulación en las ciudades, unido a la falta de renovación

de las flotas e infraestructuras durante los años de escasez de la posguerra, convertían al tranvía en un sistema de transporte obsoleto y decrépito.

En la década de los setenta Zaragoza alcanzó los 100.000 coches matriculados y el número de líneas de autobuses siguió aumentando. Además la empresa CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles de Beasain), fundada en 1917, adquiere la empresa zaragozana de Material Móvil y Construcciones. La idea del tranvía no casaba con la idea de modernidad de la España de los años setenta, lo que supuso la desaparición de prácticamente todas las líneas de tranvía en las ciudades españolas.

Zaragoza, con una larga tradición tranviaria, alargó la agonía de su red de tranvías, quedándose a las puertas de su completa renovación. Sin embargo esto no fue posible y las familias influyentes apostaban por implantar medios de transporte diferentes para los nuevos barrios obreros, lo que forzó la paulatina clausura de la red. A partir de 1975 únicamente quedaba en servicio una línea y esta aguantó durante un corto periodo de tiempo más, ya que la sustitución de tranvías por líneas de autobús fue progresiva. Sin embargo, a estas alturas la decisión ya estaba tomada y el Ayuntamiento clausuró el tranvía de Zaragoza en enero de 1976. El 23 de enero de ese año el tranvía Parque - San José (línea 11) realizó su último viaje.

Zaragoza se convierte por lo tanto en la última ciudad española en clausurar su red tranviaria. A partir de ese momento la empresa pasó a denominarse Transportes Urbanos de Zaragoza S.A. (TUZSA).

Posteriormente a esa fecha y con el inicio de la democracia, en Zaragoza se produjo una gran mejora del transporte público y se consolidó la nueva red de autobuses con 16 líneas. Ésta red de autobuses ha continuado su expansión hasta los años previos a la toma de la decisión de la implantación de una nueva red de tranvía con la que ahora convive.

### **3.1.2 ANTECEDENTES TÉCNICOS**

Como ya se ha dicho anteriormente el crecimiento de la ciudad de Zaragoza generó, ya desde la década de los noventa, la necesidad de plantear un soporte a la movilidad que garantizase una necesaria funcionalidad. En aras de resolver este problema, las administraciones demandaron estudios en temas de movilidad para llegar a la obtención de una solución para el transporte público de la ciudad de Zaragoza. Múltiples han sido los estudios encargados por distintas instituciones. En

todos los casos, con mayor o menor acierto, siempre llegaban a la conclusión de que Zaragoza es una ciudad adecuada para que el tranvía sea su principal medio de transporte colectivo.

Algunos de estos estudios se detallan a continuación:

- Proyecto de un Ferrocarril Metropolitano para la ciudad de Zaragoza, por José María Valero y Daniel Olano. (1990).

El trabajo empieza haciendo una referencia cronológica de la historia del tranvía en Zaragoza desde los comienzos, con el intento de puesta en servicio del tranvía con tracción animal y el establecimiento de la tracción eléctrica. Se describe en el proyecto para Zaragoza los siguientes objetivos relacionados con la movilidad urbana:

- Creación de una línea de Metro Ligero por el centro de la ciudad
- Cinturón ferroviario de gran amplitud
- Metro Ligero aprovechando el cauce del río Huerva, tanto subterráneo como de superficie, con prolongación hasta el Campus Universitario Norte (en el barrio del Actur)
- Estudio Previo para la implantación de un sistema de tracción eléctrica en Zaragoza, por Consultora Sánchez Blanco y Asociados S.A. (1992).

En 1992 la Empresa Consultora Sánchez Blanco y Asociados S.A. realiza un estudio por encargo del Ayuntamiento de Zaragoza. En la primera parte del mismo, se hace una introducción consistente en disponer de información acerca de los sistemas utilizados en Europa, analizar las posibilidades de adaptación a Zaragoza de los sistemas de transporte ligero y desarrollar un ejemplo de ampliación del sistema uniendo la urbanización futura de Montecanal con Zaragoza. Con respecto a la segunda fase, se describen los principales elementos en los métodos de elección de medios de transporte. Se describe la política del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (MOPTMA) en la implantación del tranvía o Metroligero en España y las actuaciones en Valencia, Barcelona y Málaga y se revisan los principales elementos de viabilidad del sistema en Zaragoza. Se formulan tres posibles líneas:

- Centro Periferia
- Polígono de Montecanal
- Circunvalación.

- Estudio previo de reimplantación del tranvía en Zaragoza, realizado por Javier Peña Gonzalvo y Ángel Álvarez Tejerína y Daniel Andrés Rubia. (Octubre 1993).

El dossier presenta un estudio para la reimplantación del tranvía en Zaragoza, con una solución de cuatro líneas que soportan casi el 50% del transporte público de la ciudad, pasando todas ellas por la Plaza de España. En él se incluyen las previsiones para este tipo de transporte elaboradas por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y por la Generalitat Valenciana. Se realiza una valoración de los costes de implantación basados en la experiencia valenciana. Tras un pormenorizado estudio de los datos previos se propusieron las siguientes líneas de tranvía:

- Línea A: Venecia – Oliver
  - Línea B: Actur – Torrero
  - Línea C: Circunvalación interior
  - Línea D: Las Fuentes – Casablanca.
- Estudio de transporte colectivo de viajeros del entorno metropolitano de Zaragoza. Estudio de viabilidad de un tranvía ALG-INECO-José María Valero (1996).

Los objetivos que se abarcaron en este estudio fueron:

- La creación de una estructura policéntrica del Área Metropolitana de Zaragoza
- Elevar la participación del transporte colectivo en la satisfacción de la movilidad metropolitana, particularmente en lo que se refiere a la movilidad obligada y especialmente en la relación del Área Metropolitana con los accesos al centro urbano de Zaragoza
- Potenciar el concepto de que el transporte público hace ciudad, la humaniza y representa calidad de vida, integración con el entorno y eficiencia social, siendo un elemento integrador adecuado para conformar las nuevas avenidas y vías cívicas de Zaragoza y su entorno
- Coordinar e integrar los diferentes modos de transporte, definiendo redes más que líneas individuales y garantizando su conexión e interrelación.

- Para conseguir estos objetivos se estudian diferentes alternativas y se proponen dos líneas de tranvías:
  - Línea Venecia - Delicias con una demanda estimada de 21.300.000 viajeros al año
  - Línea Universidad (Actur) - Venecia con una demanda estimada de 11.700.000 viajeros al año
  - Además se propone la reestructuración de la red de autobuses para adaptarse a estas nuevas líneas de tranvía.
- Plan estratégico de Zaragoza y su área de influencia (Ebrópolis 1996).
- Bases para un Plan Estratégico de Tráfico y Transportes conforme al Avance del Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza (Ayuntamiento de Zaragoza 1998).
- Estudio de movilidad de Zaragoza. Análisis de movilidad (Sener 2000).
- Estudio preliminar de la viabilidad de un metro ligero para los corredores norte-sur y este-oeste en la ciudad de Zaragoza (Sener 2001).

Este documento presenta un estudio preliminar de la viabilidad de implantación de un metro ligero en dos ejes de la ciudad, concretamente el Norte - Sur y el Este - Oeste. Se realizó para ello un análisis de la movilidad sobre la base del Estudio de Movilidad realizado por Sener en el año 2000, determinando los volúmenes de viajeros del corredor en los distintos modos. También se estudió la red de autobuses. Tras los análisis realizados, se constata que tanto el autobús convencional en plataforma propia como el metro ligero, pueden atender los corredores objeto de estudio con demandas captables por el nuevo sistema de transporte entre 3.000 y 4.000 pasajeros por hora y sentido. Además de proponer la implantación de un metro ligero en los corredores citados, se estudian diversos sistemas de transporte de alta capacidad en plataforma reservada, que por sus características mecánicas de explotación, de compatibilidad urbanística, serían susceptibles de ser aplicados en el ámbito geográfico de Zaragoza.

- Estudio sobre el transporte de viajeros en la comarca de Zaragoza y otras zonas de influencia (Idom-Consultrans 2001).
- Estudio de implantación de una red de metro ligero en la ciudad de Zaragoza, encargado por Tuzsa y redactado por Urbantran S.L. (marzo 2003).

El estudio estaba orientado a la implantación de un Metro Ligero en la localidad de Zaragoza, que potenciara el uso del transporte público, aliviando la saturación de tráfico existente en la ciudad. Para ello se proponía, tras un pormenorizado estudio de las diferentes particularidades de la ciudad de Zaragoza, la implantación de dos líneas de tranvías que cubrieran los ejes Norte Sur y Este Oeste, con unos costos de implantación de 99 millones de euros y 40 millones de euros respectivamente. Se proponía la completa adecuación de la red de autobuses que servirían como afluentes de estos dos corredores de transporte de gran capacidad.

- Propuesta de trazado e implantación de tranvía-metro ligero, definición del proyecto y análisis de su viabilidad técnica y económica (ETT 2004).

Como ya se ha dicho anteriormente, en España desaparecieron todas las líneas de tranvías de las ciudades en la década de los setenta. Sin embargo a finales de los noventa se produjo una progresiva reimplantación de los tranvías, siendo Valencia la precursora. Todo ello, unido a la experiencia adquirida por la compañía explotadora de autobuses TUZSA en la experiencia piloto del tranvía de la Diagonal de Barcelona, y con la progresiva saturación del sistema de líneas de autobuses, favorecieron, finalmente, la decisión política de volver a implantar el tranvía en la ciudad de Zaragoza.

En el año 2005 se tomó la decisión política de dar un impulso final a la construcción de un nuevo sistema de transportes para la ciudad. Para ello se convocó un concurso para la redacción de un estudio de viabilidad, para conocer y para adjudicar la concesión de este nuevo sistema de transporte. El estudio fue redactado por la UTE Iberurban, formada por Iberinsa y Urbantran, ambas con amplia experiencia en este tipo de estudios. En este estudio de viabilidad se definieron los parámetros que debía tener el sistema, así como el trazado de la primera línea. Para ello se realizó un estudio de alternativas prestando atención a las alegaciones presentadas durante el periodo de información pública. Los resultados que se presentan en este estudio de viabilidad indican que la mejor alternativa tras el análisis multicriterio se corresponde con la siguiente alternativa:

- Se establece un trazado de tranvía-metro ligero íntegramente superficial en la ciudad de Zaragoza, entre la zona Norte del Actur y el Paseo de Isabel la Católica a la altura de la Plaza Carlos V (incluyendo en su recorrido el paso por el Puente de Santiago, la Plaza de España, la Plaza Paraíso, el Paseo Gran Vía y el Paseo de Fernando el Católico).

En paralelo a esto se redactó el Plan Intermodal de Transportes para el área metropolitana de Zaragoza, que definió los futuros ejes de movilidad de la Ciudad.

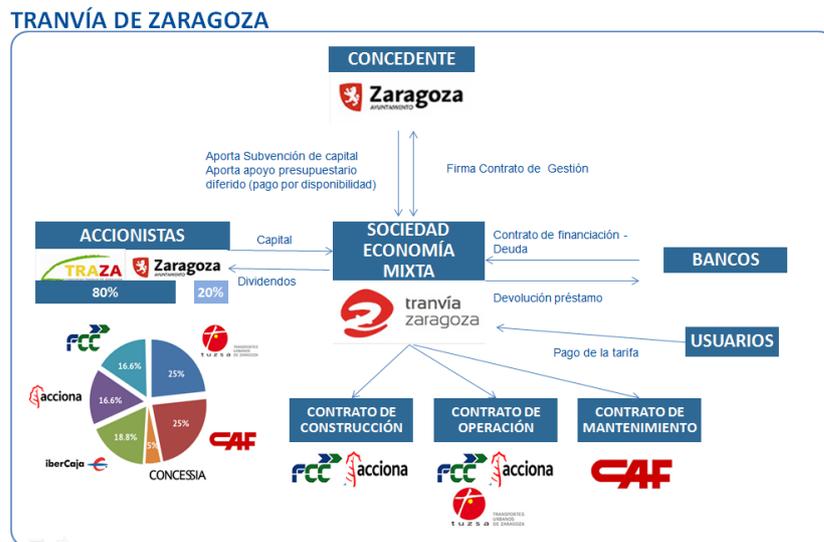
El 23 de marzo de 2007 se aprobó por la Junta Local de Gobierno del Ayuntamiento de Zaragoza el anteproyecto de la Línea del Tranvía de Zaragoza. Se adjudicó, por lo tanto, la redacción del Proyecto constructivo de la línea Norte-Sur desde Parque Goya hasta Valdespartera (alternativa anterior prolongada) a la UTE formada por las empresas Ayesa, Ingerop, y Sering.

Una vez redactado el Proyecto, en febrero de 2009, se inició el proceso de selección del socio privado que formará la SEM (Sociedad de Economía Mixta), junto con el Ayuntamiento de Zaragoza. A este proceso de selección se presentaron dos ofertas, pero la adjudicación definitiva de la selección fue para el Consorcio TRAZA. El consorcio está integrado por: TUZSA, CAF, ACCIONA, FCC, Ibercaja y Concessia.



**Figura 4. Reparto accionarial del consorcio TRAZA**

El resultado de la adjudicación fue la constitución de la Sociedad de Economía Mixta (SEM) “Los Tranvías de Zaragoza”, que recupera el nombre de la época anterior, el 13 de julio de 2009. Está compuesta en un 20% por el Ayuntamiento de Zaragoza y un 80% por el consorcio TRAZA.



**Figura 5. Esquema de los actores del tranvía de Zaragoza**

Finalmente en agosto de 2009 comienzan las obras de la primera fase (Valdespartera- Gran vía) de la línea 1 del tranvía de Zaragoza.

### 3.2 EL PROYECTO

El proyecto del tranvía de Zaragoza tiene su origen en el Plan de Movilidad Sostenible del Ayuntamiento de Zaragoza, cuyo objetivo es atender todas las necesidades de transporte de la ciudad, siempre con el máximo respeto al medio ambiente, al paisaje urbano y al patrimonio cultural de Zaragoza.

Surge de la necesidad de equipar a la ciudad con una completa red de transportes para dar respuesta a su evolución, además de apoyar su crecimiento demográfico, su expansión geográfica y satisfacer las necesidades de desplazamiento de los zaragozanos en unas condiciones de seguridad, calidad y eficiencia.

La aportación del tranvía al Plan de Movilidad Sostenible hace posible el cumplimiento de los objetivos de dicho plan, encaminados a:

- Equiparar la ciudad al resto de urbes europeas que han apostado por la implantación de un plan de transporte sostenible.
- Favorecer la conexión entre los distintos transportes de la ciudad, gracias a su complementariedad y fácil acceso a otros medios de transporte urbanos.
- Mejorar la correspondencia entre ellos, con la coincidencia de estaciones de intercambio o paradas.

- Fomentar la participación ciudadana en el uso del transporte público.
- Respetar y contribuir a la mejora del entorno. El tranvía reduce el número de vehículos y, por tanto, la contaminación en la ciudad.
- Ofrecer un servicio de alta calidad a sus usuarios, ya que la complementariedad de medios de transporte hace que la ciudad esté mejor conectada y permita el movimiento de una zona a otra con reducidos márgenes de tiempo.

La construcción de la línea se ha proyectado en dos fases: Valdespartera-Gran vía (fase 1) y Gran Vía – Parque Goya (fase 2).

La ejecución de la fase 1 comienza en agosto de 2009 y se concluye en enero de 2011. Es a partir de ese momento que comienzan las pruebas de circulación del tranvía hasta el mes de abril del mismo año en que comienza la explotación comercial de la primera fase del tranvía.

En este mismo mes de abril de 2011 y para dar continuidad laboral a los trabajadores, las obras de la segunda fase (Gran Vía – Parque Goya) se adelantan. Estas obras duran hasta marzo de 2013 que es cuando se inaugura la Línea 1 en su totalidad, adelantando los plazos previstos.

### **3.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA**

La primera línea sigue un eje norte-sur entre Valdespartera y Parque Goya, atravesando el centro de la ciudad. Consta de 25 paradas (22 con andenes laterales y 3 con andén central), en cada sentido, separadas entre sí aproximadamente 500 m. La longitud total de esta línea es de 12,8 km. que se recorren a una velocidad comercial de 21 km/h, completando el recorrido en 40 minutos.

Como ya se ha dicho el tranvía de Zaragoza atraviesa la ciudad desde su extremo sur al extremo norte, pasando por el centro y el Casco Histórico, conectando barrios tan poblados como Romareda y el Actur o distritos jóvenes como Valdespartera y Parque Goya.



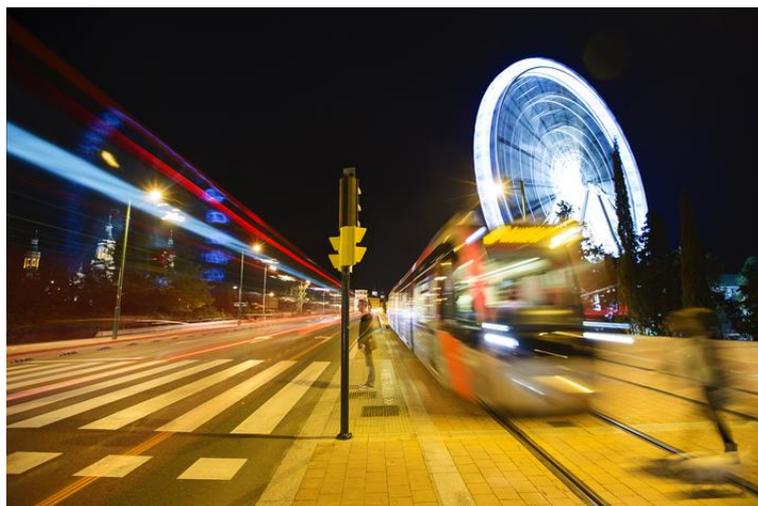
**Figura 6. Trazado de la línea 1 del tranvía de Zaragoza**

El estadio de fútbol de La Romareda, centros hospitalarios como el Miguel Servet, el Hospital Militar o la MAZ quedan unidos para cientos de miles de ciudadanos, que se benefician de un acceso rápido y cómodo a puntos de interés como el Parque Grande, el Auditorio de Zaragoza, la Plaza del Pilar, el Teatro Principal o la Cámara de Comercio.



*Imagen 3. El tranvía de Zaragoza a su paso por El Pilar*

Además, el Tranvía de Zaragoza ha unido todos los campus de la Universidad de Zaragoza: el de la Plaza San Francisco, la facultad de Económicas y el Paraninfo, y el Campus Río Ebro, dando servicio a miles de estudiantes todos los días.



*Imagen 4. Vista nocturna del tranvía de Zaragoza*

Todo el trazado se ha ejecutado con un ancho de vía de 1435 mm. (Ancho internacional o UIC) en el que la velocidad media es de 21 km/h. Sin embargo el tranvía puede alcanzar una velocidad máxima de 70 km/h.

Uno de los grandes avances tecnológicos de la línea 1 del tranvía es el sistema de prioridad semafórica dinámica. Permite que las unidades puedan circular sin necesidad de parar en los cruces. Esto es posible gracias a una tecnología de balizas, que detectan el paso del tranvía. Cuando esto ocurre, se reordenan las fases semafóricas, dando vía libre al tranvía siempre que sea posible. Este avance, que se aplica a lo largo de toda la línea 1, incluso en el centro, donde el número de cruces se multiplica, permite que el usuario gane tanto en rapidez como en regularidad, pues es posible conocer con exactitud el tiempo de recorrido, independientemente del estado del tráfico.

### **3.2.1.1 Alimentación sin catenaria**

Los promotores del tranvía exigieron que el proyecto presentado no utilizara hilo aéreo en el centro histórico (concretamente en el tramo Plaza Paraíso-Murallas) para evitar el supuesto impacto estético que requiere este sistema. Los dos fabricantes que se presentaron a concurso disponían de sistemas que permiten circular a los tranvías sin hilo:

- APS en el caso de Alstom
- ACR en el caso de CAF

Al resultar elegido el modelo Urbos 3 de CAF el sistema implantado fue el ACR, que acumula en unos ultracondensadores de alta tecnología la energía suficiente como para llegar de una parada a la siguiente. Los ultracondensadores se cargan a través de la recuperación de la energía de frenado y la conexión a la red eléctrica en las paradas.



*Imagen 5. Tranvía sin catenaria en el Casco Histórico de la ciudad*

### **3.2.1.2 Las paradas**

En el diseño del proyecto se ha tenido especial cuidado en el diseño de las marquesinas de las paradas. Estas presentan un aspecto diferente al de otras redes tranviarias españolas. Se caracterizan principalmente por una capa de vegetación en el techo para absorber el calor durante el verano. Las paradas, de 68 metros de largo, permiten el estacionamiento de composiciones dobles de tranvías para cuando la demanda de la línea así lo requiera.

Todas las paradas cuentan con una completa accesibilidad. En las expendedoras de las marquesinas se incluyen textos en Braille y la pantalla cuenta con un modo de contraste especial para las personas con visión reducida. El pavimento de las paradas incluye una franja de seguridad podotáctil, para indicar y garantizar la zona de seguridad por detrás de la cual deben situarse los viajeros hasta que el tranvía se detenga totalmente. El andén, de 68 metros, está elevado sobre la acera para que el tranvía quede a ras de suelo. Además no existe hueco alguno entre el tranvía y el andén.



**Imagen 6. Marquesina del tranvía de Zaragoza**

Las marquesinas tienen una amplia cubierta para protegerse. Tiene unas dimensiones de 15,40 metros de largo por 2,80 de ancho. Como ya se ha dicho antes, las paradas cuentan con un jardín de sedum, una especie vegetal que se caracteriza por no requerir apenas mantenimiento. La cubierta vegetal absorbe las radiaciones solares y refresca el ambiente en los días de más calor.

### **3.2.1.3 Cocheras**

La Línea 1 del tranvía de Zaragoza dispone de dos instalaciones para el material rodante, situadas en los extremos del recorrido. En contra de lo propuesto en el Anteproyecto, en el proyecto constructivo se han diseñado dos cocheras para la línea, una situada al norte y otra al sur. La cochera de la primera fase se encuentra situada a la entrada del nuevo barrio de Valdespartera, consta de 5 vías cubiertas para mantenimiento general, un túnel de pintura, lavadero y 6 vías de estacionamiento al descubierto para los tranvías, con capacidad para 12 tranvías. La cochera norte, la de la segunda fase, es de similares características a la otra.



**Imagen 7. Instalaciones del tranvía de Zaragoza**

Cuando las unidades de tranvía se retiran, una vez finalizado el servicio, se realizan labores de mantenimiento, así como las revisiones periódicas, con la finalidad de que los tranvías estén siempre a punto. Asimismo, el interior de las unidades se limpia diariamente, y la carrocería una vez cada dos días gracias al lavadero automático, ubicado en las instalaciones de Valdespartera y que cuenta con un circuito de reciclaje de agua que permite reutilizar el 90% de la misma.

### **3.2.2 MATERIAL RODANTE**

El material rodante para la primera línea del tranvía de Zaragoza ha sido el modelo Urbos 3, fabricado por CAF en su planta de Zaragoza. Este modelo dispone de la más moderna tecnología, encaminada a ofrecer un servicio eficaz, cómodo y respetuoso con el medio ambiente. El diseño ha corrido a cargo del estudio de Fabrizio Giugiaro, responsable de la línea de distintos modelos de Ferrari o Maserati. Es curioso que en pleno siglo XXI, los herederos de Material Móvil y Construcciones (empresa mencionada anteriormente), CAF, vuelvan a ser los encargados de crear un tranvía que cumpla los requisitos de la nueva red de Zaragoza.



**Imagen 8. Modelo Urbos 3 de CAF rodando por Zaragoza.**

El número de tranvías necesarios para la explotación de la línea es de 21 unidades. Las características técnicas de los nuevos vehículos son: ancho de vía internacional, bidireccionales, cinco cajas articuladas con puertas a ambos lados que le otorgan una longitud total de 33 metros.

Sus generosas dimensiones, con una altura de 3600 mm. y una anchura de 2650 mm., generan en su interior un espacio amplio en el que las personas con movilidad reducida pueden moverse libremente gracias al 100% de piso bajo y a su baja altura respecto de la calzada, 300 mm., permitiendo acceder a su interior sin necesidad de andenes de consideración.



**Imagen 9. Accesibilidad del tranvía**

Con capacidad para 52 personas sentadas y 200 de pie, garantiza el acceso de bicicletas, carros de bebé y cuatro espacios para personas de movilidad reducida, consagrándose como el transporte urbano de mayor capacidad de la ciudad.

Se alimenta a través de la catenaria y posee tres bogies, dos de ellos motores, contando en total con 8 motores de 60 kW de potencia cada uno, dispuestos longitudinalmente para un fácil acceso lateral en caso de avería o mantenimiento a través de unas pequeñas trampillas. Toda esta potencia le garantiza una velocidad máxima de 70 km/h con una aceleración de 1,4 m/s<sup>2</sup>, aunque siendo un tranvía enteramente urbano no circulará a más de 50 km/h. Cuenta además del freno eléctrico, con freno hidráulico y patín electromagnético al carril, asegurando un gran par de frenado en caso de emergencia.

*"El mayor avance tecnológico del Tranvía de Zaragoza es el sistema ACR (Acumulador de Carga Rápida) ya mencionado anteriormente. Se basa en unos supercondensadores y baterías situados en la parte superior de las cabinas, que permiten recuperar la energía de frenada para su posterior uso, lo que supone el ahorro de un 35% de electricidad. Asimismo, estas baterías se recargan en las paradas del tramo sin catenaria, mediante un patín inferior, lo que le permite circular sin estar conectado al hilo entre las paradas de Gran Vía y La Chimenea. Estos dos kilómetros son el tramo más largo sin catenaria que recorre un tranvía en España"* (Tranvía de Zaragoza, 2016).



**Imagen 10. Tranvías por las calles de Zaragoza (sin catenaria)**

### **3.2.3 SINERGIAS DEL PROYECTO**

La ejecución de la línea 1 del tranvía de Zaragoza ha supuesto, evidentemente, una serie de cambios para la ciudad.

Uno de estos efectos ha sido la reposición de parte de los servicios existentes bajo las calles por las que discurre el tranvía, de esta forma se ha realizado una renovación en la urbanización de estas calles y avenidas. Un punto singular ha sido la reforma del cubrimiento del Río Huerva, que cruza la ciudad soterrado y que se encontraba en mal estado por culpa de la aluminosis.

Las obras han permitido además una reordenación parcial del espacio público, adecuándolo a las necesidades actuales de una ciudad moderna, aumentando las zonas verdes, creando carriles bici, aumentando las aceras, en definitiva, redistribuyendo el espacio público de una manera más ecuánime entre los usuarios. Esto se observa en una nueva concepción urbana, que ha revitalizado el centro eliminando tráfico de vehículos y fomentando los espacios para los peatones. Un claro ejemplo de la concepción de un nuevo ámbito urbano dedicado a las personas lo constituye la continuidad peatonal que se ha logrado desde el Parque Grande (plaza Emperador Carlos V) hasta el Paseo de la Independencia, a lo largo de las avenidas de Fernando el Católico y Gran Vía, y logrando que la plaza Paraíso sea transitable por su centro por los peatones. Este larguísimo paseo ganado para los ciudadanos tiene una distancia de 1,8 kilómetros. Otro ejemplo ha sido la peatonalización del Casco Histórico de la ciudad que es ahora el punto de encuentro de los zaragozanos y de quienes visitan la ciudad, con la peatonalización de la plaza de España, las avenidas del Coso y de César Augusto.



***Imagen 11. Obras del tranvía en la plaza España***

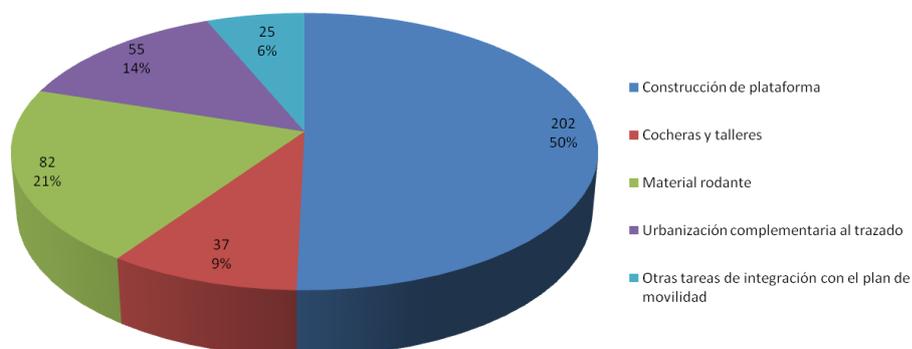
Otro de los aspectos que han variado ha sido la inclusión de zonas verdes para cumplir con la apuesta medioambiental. A lo largo de la línea 1, se han instalado en distintos tramos de la plataforma una "alfombra verde" de césped natural, cuya extensión total es de 42.000 m<sup>2</sup>. De variedad Bermuda, la idónea para climas secos como el de Zaragoza, su riego se produce por un sistema de goteo. Además se ha llevado a cabo la plantación de 1.076 árboles para renovar la vegetación urbana. Por otra parte, a lo largo de las obras sólo retiraron aquellos ejemplares que impedían la circulación del tranvía para tratar que las afecciones fueran mínimas. Sin embargo, y con el desarrollo de las obras, muchos de los arboles que no impedían la circulación del tranvía, pero si estaban dentro de la zona de trabajos, sufrieron los rigores de las maquinas y de la falta de cuidados y riego y finalmente murieron.

Además se ha producido una reordenación de la red de autobuses con el objetivo de que estos puedan servir de afluentes del tranvía, esa nueva gran arteria de transporte público. Este aspecto se detallará en el apartado de situación de actual.

### 3.2.4 VALORACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

La inversión total estimada es de 401 millones de euros. La cifra se reparte de la siguiente forma:

- Construcción de plataforma: 202 M€
- Cocheras y talleres: 37M€
- Material rodante: 82M€
- Urbanización complementaria al trazado: 55M€
- Otras tareas de integración con el plan de movilidad: 25M€



**Figura 7. Valoración económica del proyecto – reparto (M€)**

### 3.3 ESTADO ANTERIOR

Antes de la implantación del tranvía de Zaragoza el transporte público por excelencia era el autobús. La empresa que lo gestionaba era Transportes Urbanos de Zaragoza SA (TUZSA) desde enero de 1976, fecha en que desaparecieron los tranvías de la ciudad.

Como es evidente la red de autobuses y líneas fue creciendo hasta poco antes de la implantación del tranvía. Implantación que ha supuesto una reordenación de dicha red de autobuses.

En la situación anterior al tranvía la red de autobuses de Zaragoza contaba con un total de 47 líneas, repartidas de la siguiente forma:

- Líneas diurnas: 37
- Líneas nocturnas: 7
- Líneas especiales (fiestas del Pilar): 3

A su vez la red recorría un total de 721 km. por la ciudad, a lo largo de 2.018 paradas. Para prestar servicio a esta red eran necesarios 334 vehículos de diferentes características que recorrían entorno de los 20.500.000 km. al año.

Como es evidente las obras del tranvía y su afección al tráfico provocaron la modificación y los desvíos de numerosas líneas. Sin embargo lo que realmente supuso un cambio para la red de autobuses es la llegada del servicio del la línea 1 del tranvía.

### 3.4 ESTADO ACTUAL

Como ya se ha comentado, el inicio de la explotación comercial de la línea completa del tranvía entre Valdespartera y Parque Goya ha provocado en la ciudad una importante modificación a la red de autobús urbano.

Para empezar, el nombre de la empresa gestora del servicio cambió en julio de 2013, poco después de la implantación del tranvía. Por lo tanto, Transportes Urbanos de Zaragoza (TUZSA) paso a llamarse Autobuses Urbanos de Zaragoza, S.A.U. (conocida comercialmente como Urbanos de Zaragoza) dedicada exclusivamente a gestionar la concesión administrativa de los autobuses urbanos de la ciudad de Zaragoza.

Con este cambio pasaba a implantarse una nueva Red de Autobús Urbano. Esta nueva red no era más que una reordenación de la oferta de servicio de bus

urbano y estaba directamente ligada a la puesta en marcha del tranvía. Las principales novedades se basaban en la eliminación de itinerarios coincidentes con la traza del tranvía, lo que hacía que la oferta estuviera duplicada. Para hacer estos cambios también se tuvo en cuenta la reducción de demanda que se produciría en la red de autobuses, con el trasvase de viajeros de uno a otro modo de transporte (alrededor de un 25%).

Para realizar la adaptación de la red a la nueva situación, se aplicaron criterios de eficacia y sostenibilidad, dando respuesta a la variedad de demanda previsible.

Pese a todo, la nueva red, ha mantenido el esquema básico del sistema anterior, ya que los análisis y resultados del modelo de demanda realizados confirmaban su validez. Así, mantuvieron su configuración 19 líneas diurnas, 5 del servicio nocturno Búho y las 3 líneas especiales que se ponen en servicio durante las Fiestas del Pilar. Hay 13 líneas que modificaron sus trazados y 7 desaparecieron, ya sea por tener trazados coincidentes con el tranvía o porque se incorporaron al recorrido de otras líneas. El criterio que se estableció fue la eliminación de todas las líneas que tuvieran una coincidencia superior al 60% en su trayecto con el tranvía.

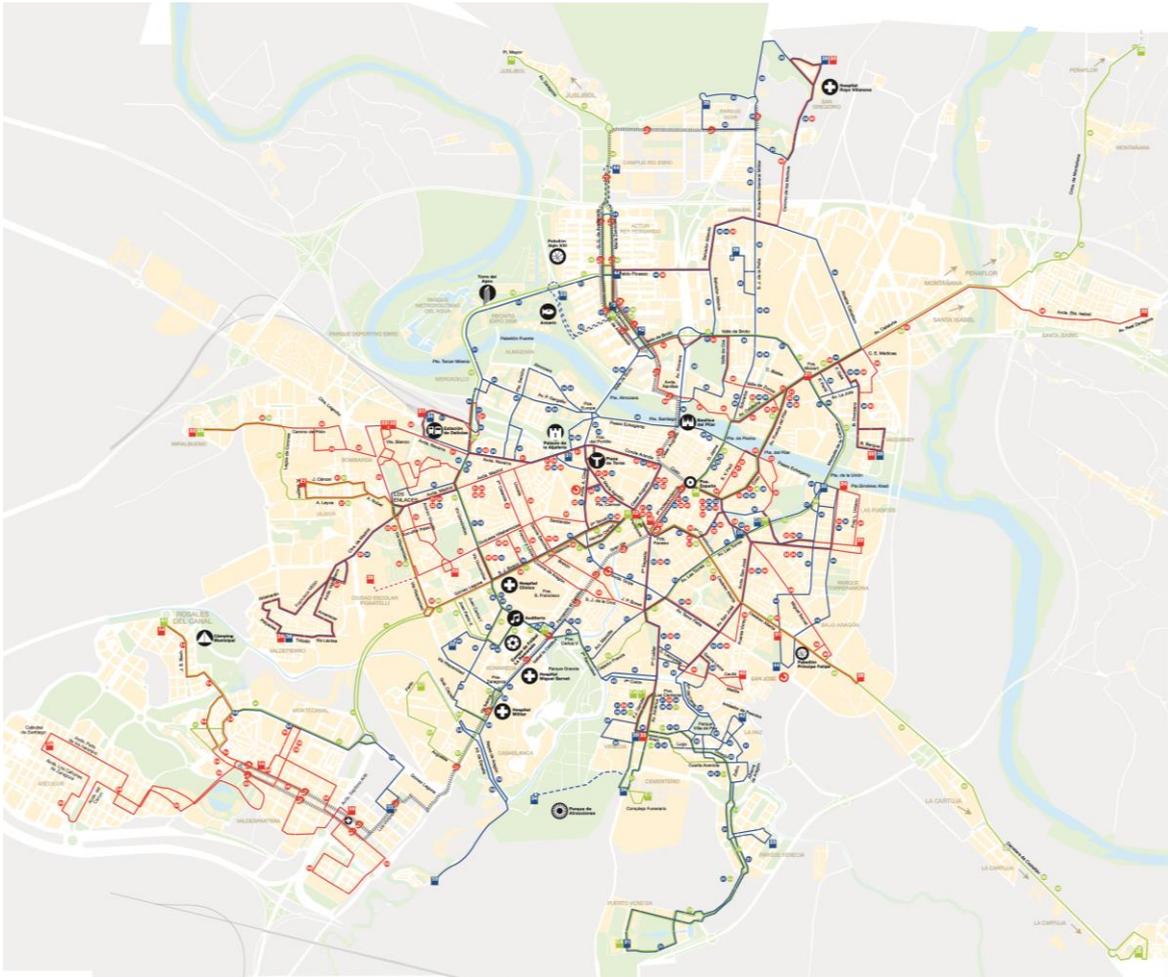
Así, la nueva red contará con un total de 40 líneas, repartidas de la siguiente forma:

- Líneas diurnas: 30
- Líneas nocturnas: 7
- Líneas especiales (fiestas del Pilar): 3

Las modificaciones llevadas a cabo son las siguientes:

- 19 líneas diurnas sin cambios
- líneas nocturnas sin cambios
- 3 líneas especiales sin cambios
- 11 modificaciones de líneas diurnas
- 2 modificaciones de líneas nocturnas
- Desaparición de 7 líneas diurnas

En concreto las líneas que dejaron de dar servicio fueron la 20, 30, 31, 45, 50, C2 y C4. Además las que se modificaron fueron las líneas 22, 23, 28, 32, 34, 36, 40, 42, 43, 44 y 52 y las nocturnas N3 y N6.



**Figura 8. Estado actual de la red de autobuses y tranvía de Zaragoza**

La longitud de la red se redujo en un 17,60%, pasando de 721 a 593 kilómetros totales. El número de paradas también se redujo a 1.860 frente a las 2.018 anteriores (un 7,7%). Se estima que, en total, se ha pasado a recorrer 17.400.000 kilómetros anuales, un 15,3% menos que los 20.500.000 kilómetros anteriores. Además con la nueva planificación el número de vehículos necesarios pasó a 273 vehículos para un día laborable frente a los 334 anteriores.

Pese a la reordenación de la red se calculó que la red del autobús urbano sería capaz de absorber una demanda de noventa millones de viajeros por año, que, junto a los treinta millones del tranvía suman los 120 millones de usuarios que necesitará el sistema para ser viable, con una ratio de cinco viajeros por kilómetro.



**Imagen 12. Convivencia del tranvía con el autobús urbano**

Todo este cambio en la red de autobuses de la ciudad provocó que, ya desde agosto de 2013, la empresa planteara un ERE con el que despidió a 153 trabajadores. Esta nueva situación ha generado numerosas tensiones entre las partes afectadas (Ayuntamiento, empresa, trabajadores y usuarios), y ha ocasionado graves molestias a la ciudad al tener que soportar una huelga de autobuses de larga duración.



## 4 ANÁLISIS COSTE–BENEFICIO DEL PROYECTO

En este apartado se debe llevar a cabo el Análisis Coste-Beneficio de la implantación del Tranvía en la ciudad de Zaragoza.

Para poder realizarlo hay que seguir los pasos detallados anteriormente en la metodología del ACB.

### 4.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Se busca realizar la completa descripción del proyecto, incluyendo desde la memoria descriptiva o la planificación de la ejecución hasta la asignación de los recursos necesarios para su implantación.

Se entiende que esta identificación del proyecto ha quedado sobradamente detallada en el apartado anterior sobre el estudio del caso de la ciudad de Zaragoza.

Una consideración que hay que tener en cuenta es la distribución temporal de la inversión. Tal como se ha indicado, las obras del tranvía se prolongaron durante casi 5 años, con períodos de mayor y menor intensidad de trabajo. Por lo tanto, se pretende detallar como ha sido el reparto de la asignación de los recursos necesarios para la ejecución del proyecto a lo largo de los años de la duración de las obras.

En este apartado se incluyen los gastos de inversión que son necesarios para conseguir la implantación del tranvía y que repercuten directamente en dicha implantación. Los citados gastos corresponden a:

- Gastos de inversión de Infraestructura
  - Gastos de Infraestructura de tramos en superficie
  - Gastos de Infraestructura de estaciones
  - Gastos de Infraestructura de paradas en superficie
  - Gastos de puentes y viaductos
  - Gastos de Talleres y Cocheras

- Gastos de inversión de Superestructura de Vía
  - Gastos de Superestructura de Vía
  - Gastos de Electrificación (Catenaria) y Subestaciones
  - Gastos de las Instalaciones de Señalización, Comunicaciones y Control
  - Gastos de Teleindicadores y Control de Accesos
- Gastos de inversión de Material Móvil
- Gastos de inversión en urbanización complementaria
- Gastos de inversión en labores de integración con el PGOU de Zaragoza

La inversión total estimada es de 401 millones de euros. La cifra se reparte de la siguiente forma:

**Tabla 1. Valoración económica del proyecto - reparto**

<b>Valoración económica del proyecto</b>	
<b>Concepto</b>	<b>Importe (M€)</b>
Construcción de plataforma	202
Cocheras y talleres	37
Material rodante	82
Urbanización complementaria al trazado	55
Otras tareas de integración con el plan de movilidad	25

La construcción de la línea se ha proyectado en dos fases: Valdespartera-Gran vía (fase 1) y Gran Vía – Parque Goya (fase 2). Las obras comenzaron por la fase 1 y una vez concluida y en funcionamiento se empezó con la fase 2. Se avanzó a ritmos diferentes y por ese motivo se ha decidido repartir los costes de construcción entre las dos fases en función de la longitud de cada una de las fases. Se entiende que al haber cocheras en los dos extremos de la línea (en las dos fases) estos se reparten de forma homogénea entre estas dos fases. En cuanto al material rodante se establece el mismo criterio que para las cocheras y talleres. Los detalles de la ejecución de las diferentes fases se detallan a continuación:

**Tabla 2. Reparto de los gastos de inversión por fases y conceptos**

<b>FASE</b>	<b>Longitud (km)</b>	<b>Período ejecución</b>	<b>Reparto asignación (M€)</b>				
			<b>Construcción de plataforma</b>	<b>Cocheras y talleres</b>	<b>Material rodante</b>	<b>Urbanización complementaria al trazado</b>	<b>Otras tareas de integración con el plan de movilidad</b>
FASE 1	6	de 2009 a 2011	94,69	18,50	41,00	25,78	11,72
FASE 2	6,8	de 2011 a 2013	107,31	18,50	41,00	29,22	13,28
<b>TOTAL</b>	<b>12,8</b>	<b>de 2009 a 2013</b>	<b>202,00</b>	<b>37,00</b>	<b>82,00</b>	<b>55,00</b>	<b>25,00</b>

Una vez realizado el reparto de la inversión para cada una de las fases se debe considerar la distribución temporal de la misma. Para cada una de las fases se ha optado por simplificar y los costes de construcción se han repartido de manera homogénea entre los 3 años de ejecución de cada fase. En otros casos, como es el caso del material rodante, se ha asignado su coste al último año de ejecución de cada una de las fases. Por ese motivo la distribución de los gastos de inversión en los años desde 2009 hasta 2013 es la siguiente:

**Tabla 3. Distribución de los gastos de inversión en el tiempo**

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	TOTAL
<b>Inversión (M€)</b>	50,23	50,23	147,33	56,10	97,10	<b>401,00</b>

## 4.2 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS BÁSICOS

Una vez valorada y distribuida la inversión, resulta conveniente reflexionar sobre una serie de parámetros básicos para la realización del Análisis Coste-Beneficio. Estos parámetros son importantes y afectan al resultado final.

Los parámetros quizás más importantes a fijar en esta etapa son:

- el año de referencia: **2016**
- el horizonte temporal del análisis: **25 años**
- la tasa de descuento a aplicar durante el proceso de cálculo del indicador de rentabilidad: **4%**

### 4.2.1 EL AÑO DE REFERENCIA

Se toma como año de referencia el 2016, el año actual, ya que estamos realizando un ACB ex-post. Se trata de un proyecto de inversión pública que ya ha tenido lugar. Es la evaluación de una intervención ya ocurrida, para estimar sus efectos económicos con relación a los costes y beneficios que ha supuesto y que está suponiendo.

### 4.2.2 EL HORIZONTE TEMPORAL DEL ANÁLISIS

Entendemos por horizonte temporal del ACB al plazo de años que se tienen en cuenta para el análisis de los costes e ingresos producidos por el proyecto bajo evaluación. Resulta por lo tanto conveniente reflexionar sobre la vida útil del proyecto y el período sobre el que debe extenderse la evaluación. La implantación de un tranvía es una infraestructura de larga duración que, por cuestiones de



funcionamiento y seguridad estrictamente reguladas, suele recibir un nivel de mantenimiento elevado, lo que hace que su vida útil se prolongue en el tiempo. Sin embargo, desde el punto de vista de la evaluación, entendida como el valor actualizado de beneficios y costes presentes y futuros durante un período limitado de tiempo, el horizonte temporal para este tipo de proyectos de transporte urbano no suele extenderse más allá de 25 - 30 años, debido a las dificultades inherentes a cualquier predicción a muy largo plazo y a la inevitable obsolescencia tecnológica asociada a períodos tan largos.

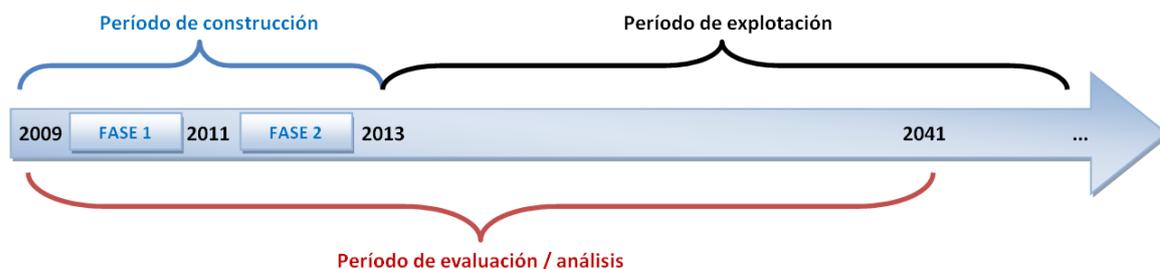
Para obtener este valor se ha seguido lo indicado por la Comisión Europea en su Guía sobre el ACB de los Proyectos de Inversión Pública (2014). En dicho documento aparece la tabla 2.1 en la que aparece el horizonte temporal por distintos sectores.

**Tabla 4. Horizonte temporal del análisis por sectores (Tabla 2.1 - EC)**

Table 2.1 European Commission's reference periods by sector

Sector	Reference period (years)
Railways	30
Roads	25-30
Ports and airports	25
Urban transport	25-30
Water supply/sanitation	30
Waste management	25-30
Energy	15-25
Broadband	15-20
Research and Innovation	15-25
Business infrastructure	10-15
Other sectors	10-15

Teniendo en cuenta que las obras del tranvía comenzaron en 2009 y que el año de referencia es el 2016, se ha optado por elegir un **horizonte temporal de 25 años**. De esta forma el análisis comienza en 2009 y finaliza en el año 2041.



**Figura 9. Estructura temporal del proyecto**

### 4.2.3 LA TASA DE DESCUENTO

El empleo de una tasa de descuento surge al tener que analizar inversiones cuyos beneficios eran obtenidos muchos años después del gasto inicial. Se ha decidido tomar el **valor del 4% para la tasa de descuento social** porque se trata del valor que fija el Banco Mundial para ese parámetro.

Con respecto a la tasa de descuento, se nos plantea una cuestión importante y es si se debe aplicar la tasa de descuento seleccionada tanto para los años ya pasados como para los venideros. El ser el año de referencia el actual (2016) y al haber comenzado las obras en 2009, se debería de emplear otra tasa para esos años anteriores al 2016 y la tasa de descuento social para los años futuros. El valor que se va a utilizar para los años ya pasados es el correspondiente a la tasa de inflación de España. Para obtener esta tasa se ha empleado la base de datos de la Oficina Europea de Estadística, más conocida como Eurostat:

**Tabla 5. Tasa de inflación de España de 2009 a 2015**

Tasa de inflación de España (fuente Eurostat)							
AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Tasa inflación %</b>	-0,20	2,00	3,00	2,40	1,50	-0,20	-0,60

## 4.3 DEFINICIÓN, ESTUDIO Y VALORACIÓN MONETARIA DE LOS IMPACTOS

En esta fase se debe proceder a la identificación de los impactos que se derivan de la realización del proyecto. Se deben tener en cuenta todos aquellos efectos que afectan a la población del área de estudio, tanto en su fase de ejecución, como a largo plazo una vez el proyecto esté finalizado. Además se realiza también en este apartado la valoración monetaria de dichos impactos para utilizar una medida homogénea e imparcial para el análisis.

Los impactos que se han considerado son los siguientes y se refieren a una serie de aspectos.

- Aspectos económicos:
  - Gastos de inversión
  - Gastos de funcionamiento del sistema
  - Ingresos por el uso del tranvía

- Aspectos funcionales:
  - Ahorro de tiempo de desplazamiento
  - Ahorro en costes de explotación del autobús urbano
- Aspectos relacionados con el Tráfico:
  - Afección al tráfico de vehículos
  - Afección a la accidentalidad en la ciudad
- Aspectos Medio-Ambientales:
  - Afección por ruido
  - Afección sobre contaminación atmosférica
- Otros aspectos:
  - Afección a las ventas de los comercios

#### **4.3.1 ASPECTOS ECONÓMICOS**

Los aspectos económicos remiten ineludiblemente a todos los aspectos que son susceptibles de una valoración en términos monetarios de forma directa. Dentro de ellos se establece un agrupamiento en tres aspectos:

- Gastos de inversión
- Gastos de funcionamiento del sistema
- Ingresos por el uso del tranvía

##### **4.3.1.1 Gastos de inversión**

En este apartado se incluyen los gastos que fueron necesarios para conseguir la implantación del tranvía y que repercutieron directamente en dicha implantación. Los citados gastos ya han sido detallados anteriormente en el apartado de identificación del proyecto. Ver Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3.

##### **4.3.1.2 Gastos de funcionamiento del sistema**

En los gastos de funcionamiento del sistema se incluyen todos aquellos gastos precisos que sea necesario contemplar para que el sistema sea puesto en marcha y se mantenga en servicio.



Entre dichos gastos no se incluyen los de Inversión en Infraestructura, Superestructura y Material Móvil pero si los de mantenimiento de tales aspectos. Las unidades globales en que se dividen estos gastos son:

- Gastos de mantenimiento:
  - Infraestructura
  - Superestructura
  - Material Móvil
- Gastos Generales de Explotación

### **Gastos de mantenimiento de la Infraestructura**

El gasto de mantenimiento de la Infraestructura incluye las operaciones ordinarias y extraordinarias necesarias para mantener en servicio. Este gasto será en función de la longitud de la actuación y de la tipología de las construcciones.

A diferencia de lo que ocurre en otras actuaciones (carreteras, regeneración de playas, etc) no existe una inversión de rehabilitación, ya que la vida útil de las obras ejecutadas es muy elevada y será suficiente realizar el mantenimiento de la Infraestructura, pero no su reposición.

Previsiblemente, en el primer año de servicio los gastos de mantenimiento no serán tan elevados como cuando la infraestructura haya adquirido cierta madurez, circunstancia por la que se suele suponer un valor medio, por todos los años, que se puede cifrar en:

**Tabla 6. Gasto de mantenimiento anual de la infraestructura**

<b>Infraestructura</b>	<b>Gasto de Mantenimiento anual (€/km)</b>
Túnel	50.000
Superficie	20.000

### **Gasto de mantenimiento de la Superestructura**

El gasto de mantenimiento de la Superestructura incluye todas las operaciones ordinarias y extraordinarias necesarias para mantener el servicio de las obras ejecutadas. Este gasto es función de la longitud de la actuación, e incluso de la tipología de la construcción.

Al ser larga la vida de los componentes de la Superestructura, se considera que en su primera fase de vida será suficiente con realizar el mantenimiento, que se puede cifrar en:

**Tabla 7. Gasto de mantenimiento anual de la superestructura**

Superestructura	Gasto de Mantenimiento anual (€/km)	
	Túnel	Superficie
Superestructura de vía	13.000	20.000
Catenaria y subestaciones	6.000	6.000
Señalización, comunicaciones y control	13.000	13.000
Teleindicadores y Control de Accesos	20.000	0
<b>TOTAL:</b>	<b>52.000</b>	<b>39.000</b>

### **Gasto de mantenimiento del Material Móvil**

Al igual que la Infraestructura y Superestructura, se incluyen en este apartado solamente los gastos que suponen el mantenimiento del Material Móvil, gastos que abarcan tanto los relacionados con el funcionamiento mecánico de los mismos como con el mantenimiento funcional de todos sus componentes.

De acuerdo con la experiencia existente para el tipo de vehículos considerado, el coste de mantenimiento se puede cifrar en **68.000 € por kilómetro**.

### **Gastos generales de explotación**

Se incluyen en este apartado los gastos de explotación correspondientes, tanto a la explotación de estaciones, como a la explotación del Material Móvil.

De la experiencia existente en obras similares se deducen los gastos medios indicados en la siguiente tabla:

**Tabla 8. Gasto general de explotación**

Explotación	Gasto de Explotación anual (€/km)	
	Túnel	Superficie
Personal	250.000	200.000
energía	100.000	80.000
Material Móvil	85.000	85.000
Estaciones	230.000	80.000
<b>TOTAL:</b>	<b>665.000</b>	<b>445.000</b>

Los gastos de personal se han estimado en función de las necesidades medias que se producen en sistemas similares que están en servicio. Las necesidades se cifran en 8-9 personas por kilómetro, dependiendo de la tipología del tranvía. El coste medio considerado ha sido 25.000 euros anuales/persona.

Los gastos energéticos, de tracción y los de estaciones, se consideran incluidos en la explotación de las estaciones. Se estima, para la línea del tranvía, en un valor medio de 5,20 KW.h/vehículo.km y se supone un gasto superior de un 25% en los tramos subterráneos (no hay en nuestro caso) sobre los tramos en superficie.

Los gastos de explotación del material móvil y de las estaciones y paradas se han deducido de la experiencia existente en este tipo de explotaciones.

### **Gastos de funcionamiento de la línea 1 del tranvía de Zaragoza**

Se incluye a continuación el cuadro resumen de gastos de mantenimiento y explotación:

**Tabla 9. Gastos de funcionamiento (mantenimiento y explotación)**

	<b>Gasto anual (€/km)</b>	
	<b>Túnel</b>	<b>Superficie</b>
<b>Gastos de Mantenimiento:</b>		
<b>Infraestructura</b>	<b>50.000</b>	<b>20.000</b>
Superestructura de vía	13.000	20.000
Catenaria y subestaciones	6.000	6.000
Señalización, comunicaciones y control	13.000	13.000
Teleindicadores y Control de Accesos	20.000	0
<b>TOTAL Superestructura:</b>	<b>52.000</b>	<b>39.000</b>
<b>Material Móvil</b>	<b>68.000</b>	<b>68.000</b>
<b>TOTAL Mantenimiento:</b>	<b>170.000</b>	<b>127.000</b>
<b>Gastos de Explotación:</b>		
Personal	250.000	200.000
energía	100.000	80.000
Material Móvil	85.000	85.000
Estaciones	230.000	80.000
<b>TOTAL Explotación:</b>	<b>665.000</b>	<b>445.000</b>
<b>SUMA TOTAL GASTOS FUNCIONAMIENTO</b>	<b>835.000</b>	<b>572.000</b>

Teniendo en cuenta las características de la línea del tranvía de Zaragoza (todo en superficie) y su longitud, se presenta a continuación una tabla con la expresión de los gastos totales para el tranvía de Zaragoza:

**Tabla 10. Gasto del funcionamiento del sistema por fases**

FASE	Longitud (km)	Longitud túnel (km)	Período ejecución	Gasto anual (€/km)	Gasto anual (€)
FASE 1	6	0	de 2009 a 2011	572.000	3.432.000
FASE 2	6,8	0	de 2011 a 2013	572.000	3.889.600

Además, se presenta en la siguiente tabla, el reparto de los gastos anuales de funcionamiento en función del año de estudio:

**Tabla 11. Reparto de los gastos anuales de funcionamiento en función del año de estudio**

AÑO	Gasto anual (€)
2011	3.432.000
2012	3.432.000
de 2013 a 2041	7.321.600

#### **4.3.1.3 Ingresos por uso del tranvía**

Una vez finalizadas las obras del tranvía comenzó el período de explotación. Es a partir de ese momento, en el que los usuarios deben abonar la tarifa correspondiente para poder hacer uso del servicio. El ingreso de las tarifas pagadas por los viajeros es la única fuente de ingresos para el consorcio del tranvía.

Para el cálculo de los ingresos por tarifas se hace necesario conocer los siguientes aspectos sobre la estadística del uso del tranvía por los viajeros:

- Demanda anual de viajeros
- Tarifas y reparto de los usuarios entre las distintas tarifas
- Transbordos

#### **Demanda de viajeros**

A continuación, se presenta una tabla en la que aparece la demanda de viajeros anual prevista en el Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares (PCAP) del contrato del tranvía y el dato anual real de viajeros (fuente Heraldo de Aragón).

**Tabla 12. Demanda de viajeros anuales (previsión y dato real)**

AÑO	Previsión viajeros	Viajeros reales
2011	8.972.559	<b>7.916.269</b>
2012	10.318.469	<b>12.040.000</b>
2013	19.862.941	<b>22.364.314</b>
2014	29.794.506	<b>26.869.683</b>
2015	30.986.404	<b>27.578.757</b>

AÑO	Previsión viajeros	AÑO	Previsión viajeros
2016	31.915.993	2029	36.682.782
2017	32.554.099	2030	37.049.746
2018	32.879.843	2031	37.420.190
2019	33.208.532	2032	37.794.381
2020	33.540.700	2033	38.172.320
2021	33.876.080	2034	38.554.006
2022	34.214.673	2035	38.939.706
2023	34.557.012	2036	39.328.887
2024	34.902.563	2037	39.722.349
2025	35.251.594	2038	40.119.560
2026	35.604.105	2039	40.520.785
2027	35.960.095	2040	40.926.025
2028	36.319.565	2041	41.335.279

### **Diferentes tipos de tarifas**

Para poder acceder al servicio del tranvía es necesario poseer alguno de los siguientes títulos de viaje, cuyas tarifas se han mantenido constantes desde el año de puesta en servicio del tranvía (2011):

- **Billete sencillo:** Se adquiere en las máquinas expendedoras de las paradas. La validación del billete debe realizarse en el interior del tranvía, antes de 1 hora desde el momento de ser expedido. No admite transbordo. Precio del viaje: 1,35€
- **Tarjeta Ciudadana / Tarjeta BUS / Tarjeta InterBUS:** Tarjetas recargables. Válidas en el Tranvía de Zaragoza y en todas las líneas de autobús urbano. Precio del viaje: 0,74€
- **Abonos 30-90-365 Auzsa:** Abonos recargables válidos durante 30 (42,95€), 90 (104,90€) ó 365 (359,45€) días respectivamente, a contar desde el día en que se usa por primera vez. Válidos en el Tranvía de Zaragoza y en todas las líneas de autobús urbano.
- **Tarjeta del Pensionista:** Para uso gratuito del transporte. Válida en el Tranvía de Zaragoza y en todas las líneas de autobús urbano.

**Tabla 13. Tarifas de uso del tranvía**

Título de viaje	TARIFA (€)
Billete Sencillo	1,35 €
TARJETA CIUDADANA/BUS/INTERBUS	0,74 €
ABONO 30	42,95 €
ABONO 90	104,90 €
ABONO 365	359,45 €
TARJETA PENSIONISTA	- €

Además de conocer los diferentes tipos de tarifa existentes para poder acceder al tranvía, se hace necesario conocer qué porcentaje de viajeros utilizan

una u otra tarifa para poder determinar el ingreso anual que se produce por el pago de las tarifas. Las diferencias entre usar unas u otras tarifas tienen una gran importancia, ya que, debido a la variabilidad en el importe entre los diferentes billetes, la incidencia en el ingreso anual total percibido es elevada.

Cuando se realizó este apartado del trabajo no fue posible obtener estos datos (porcentaje de viajeros que utilizan una u otra tarifa), sin embargo cuando ya se había resuelto el problema por otro método, si fue posible obtener dichos datos.

Por ese motivo, para la obtención del ingreso anual que se produce por el pago de las tarifas, se han utilizado dos métodos diferentes:

- Método#1. Datos oficiales
- Método#2. Propuesta de asignación propia

### **Transbordos**

El título de viaje de la Tarjeta Ciudadana / Tarjeta BUS / Tarjeta InterBUS permite el transbordo. Los viajes de ida y vuelta en la misma línea no se consideran transbordo. Todos los transbordos que se realicen en el plazo de una hora desde el primer viaje de pago son gratuitos.

La modalidad del transbordo implica el paso de estas tarjetas por las máquinas de validación instaladas en el tranvía, lo cual supone el cómputo de estos usuarios al total de viajeros anuales, pero estos no están pagando por el uso del tranvía. Para poder determinar el ingreso anual que se produce por el pago de las tarifas, se hace necesario conocer qué porcentaje de los viajeros del tranvía lo hacen con la modalidad del transbordo.

Cuando se realizó este apartado del trabajo no fue posible obtener estos datos (porcentaje de viajeros que utilizan el transbordo), sin embargo cuando ya se había resuelto el problema por otro método, si fue posible obtener dichos datos.

#### **4.3.1.3.1 Método#1. Datos oficiales**

Como se acaba de comentar, al inicio del trabajo no fue posible obtener información sobre la distribución de viajeros respecto al título de transporte utilizado. Sin embargo, posteriormente, se pudieron obtener estos datos de forma oficial gracias a la Dirección Técnica de Explotación del Consorcio de Los Tranvías de Zaragoza.

La información facilitada ha sido la distribución de viajeros respecto al título de viaje empleado para un día laborable promedio del mes de julio de 2016. Sin embargo, y según la fuente arriba citada, la distribución es similar para todos los días, meses y años. Esto implica que se podrán extrapolar datos en base a dicha distribución. A continuación se presentan en una tabla la distribución facilitada.

**Tabla 14. Distribución de viajeros respecto al título de transporte utilizado**

Título de viaje	Viajeros	Distribución %
BILLETE SENCILLO	1948	2,71%
TARJETA CIUDADANA/BUS/INTERBUS	45966	64,01%
TRANSBORDO	8471	11,80%
ABONO 30	4318	6,01%
ABONO 90	3639	5,07%
ABONO 365	2574	3,58%
TARJETA PENSIONISTA	4891	6,81%
<b>TOTAL</b>	<b>71807</b>	<b>100,00%</b>

Una vez conocida la distribución de viajeros es necesario determinar la repercusión económica de 1 solo viajero para el tranvía. Este valor se obtendrá en función del importe de cada uno de los títulos de viaje y de la anterior distribución. Anteriormente ya se han indicado las diferentes tarifas y sus importes, sin embargo para los títulos de viaje Abono 30-90-365, la repercusión dependerá del número de viajes que efectúen los propietarios de dicho abono. Por ese motivo, y a falta de datos, se supone que la repercusión económica será de 0,60 ; 0,55 y 0,50 €/viaje respectivamente para los tipos de Abono de 30 días, 90 días y 365 días. De esta forma, la repercusión económica de 1 solo viajero para el tranvía es la siguiente: **0,5922€.**

**Tabla 15. Repercusión económica de un solo viajero para el tranvía MÉTODO#1**

Título de viaje	Distribución %	Importe (€/viaje)	Distribución x importe
BILLETE SENCILLO	2,71%	1,35	0,0366
TARJETA CIUDADANA/BUS/INTERBUS	64,01%	0,74	0,4737
TRANSBORDO	11,80%	0,00	0,0000
ABONO 30	6,01%	0,60	0,0361
ABONO 90	5,07%	0,55	0,0279
ABONO 365	3,58%	0,50	0,0179
TARJETA PENSIONISTA	6,81%	0,00	0,0000
<b>TOTAL</b>	<b>100,00%</b>	<b>Resultado (€/viaje)=</b>	<b>0,5922</b>

Obtenido este valor queda claro, por lo tanto, que los ingresos anuales que habrá será el número de viajeros multiplicado por este valor de **0,59€.**

En la siguiente tabla se presentan los ingresos anuales por el uso del tranvía con el MÉTODO#1.

**Tabla 16. Ingresos anuales por el uso del tranvía MÉTODO#1**

AÑO	Viajeros anuales	Ingresos anuales (€)
2011	7.916.269	4.688.015
2012	12.040.000	7.130.088
2013	22.364.314	13.244.147
2014	26.869.683	15.912.226
2015	27.578.757	16.332.140
2016	31.915.993	18.900.651
2017	32.554.099	19.278.537
2018	32.879.843	19.471.443
2019	33.208.532	19.666.093
2020	33.540.700	19.862.803
2021	33.876.080	20.061.415
2022	34.214.673	20.261.929
2023	34.557.012	20.464.663
2024	34.902.563	20.669.298
2025	35.251.594	20.875.994
2026	35.604.105	21.084.751
2027	35.960.095	21.295.568
2028	36.319.565	21.508.446
2029	36.682.782	21.723.544
2030	37.049.746	21.940.860
2031	37.420.190	22.160.237
2032	37.794.381	22.381.832
2033	38.172.320	22.605.648
2034	38.554.006	22.831.682
2035	38.939.706	23.060.094
2036	39.328.887	23.290.567
2037	39.722.349	23.523.575
2038	40.119.560	23.758.803
2039	40.520.785	23.996.409
2040	40.926.025	24.236.392
2041	41.335.279	24.478.752

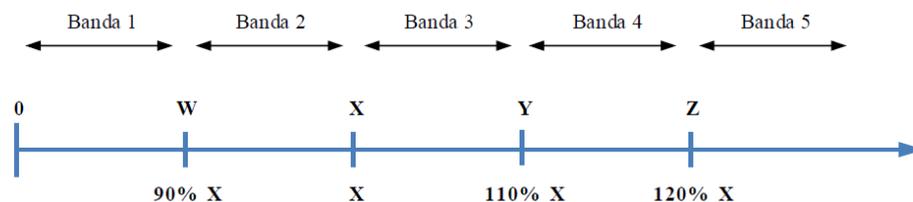
#### **4.3.1.3.2 Método#2. Propuesta de asignación propia**

Como es evidente, y como se acaba de comentar, para poder determinar el valor de los ingresos que supone el pago de las tarifas por los usuarios habría que conocer el porcentaje de viajes que se realizan con un tipo de tarifa u otro (no es lo mismo que todos los usuarios paguen con el billete sencillo 1,35€; con la Tarjeta Bus que supone 0,74€; con la Tarjeta Pensionista que es gratuita; etc.). Además se debe saber cuántos de esos viajeros realizan transbordo. Como al inicio del trabajo

conseguir esa información no fue posible, se hizo necesario tratar de obtener el ingreso económico que supone el pago de un viajero para el consorcio del tranvía con métodos de asignación propia.

Recopilando información en prensa y en el Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares (PCAP) del contrato del tranvía, se ha conocido que el pago por usuario (PPU) es la cantidad de ingreso a que la sociedad gestora tiene derecho en función de los usuarios que utilicen el tranvía, cancelando sus billetes en los dispositivos destinados al efecto. Se calcula como producto de todos los usuarios de un determinado período y el pago por usuario unitario. Además en el PCAP se articula un sistema de liquidación del PPU corregido, en el caso de que se evidencie una demanda real del servicio público del tranvía sustancialmente superior o inferior a la prevista originalmente. Esta demanda de referencia X, establecida en los PCAP es la mostrada anteriormente en la Tabla 12.

Se establecen así cinco bandas de demanda de viajeros en relación con la “demanda de referencia X” (la demanda de referencia X corresponde a la columna de previsión de viajeros de la Tabla 12) tal como se indica en la siguiente figura.



**Figura 10. Bandas de demanda de viajeros**

La liquidación del PPU se realizará de la siguiente forma:

- Si la demanda real de usuario se sitúa dentro de la primera banda, el Ayuntamiento de Zaragoza compensará a la sociedad gestora del servicio el 50% de la pérdida de ingresos en concepto de PPU, calculando dicha pérdida como la cantidad que la sociedad gestora deja de percibir por estar debajo del nivel de demanda W.
- Si la demanda real de usuarios se sitúa en las bandas dos y tres, no se produce compensación alguna para ninguna de las partes.
- Dentro de la cuarta de las bandas la sociedad gestora del servicio público abonará el 50% del sobre ingreso al Ayuntamiento de Zaragoza. Se calcula el sobre ingreso como la cantidad que la

sociedad gestora hubiese percibido por encima del nivel de demanda Y.

- Dentro de la quinta banda (banda final), el Ayuntamiento de Zaragoza retendrá un 90% de los ingresos adicionales de la sociedad gestora. Se entiende que los ingresos adicionales son la cantidad que la sociedad gestora hubiese percibido por encima del nivel de demanda Z.

Además de lo estipulado en el PCAP se ha encontrado en prensa, concretamente el viernes 1 de abril de 2016 en el Heraldo de Aragón, lo siguiente:

*"El Ayuntamiento ha tenido que abonar 138.355 euros a la sociedad Los Tranvías de Zaragoza por haber tenido en 2015 un 11,14% menos de los usuarios previstos. El pliego de condiciones que rige el sistema tranviario prevé que si la línea 1 tiene entre un 10% y un 20% menos de los viajeros estimados, el Consistorio tiene que asumir en parte ese desfase..."*

*...El año pasado el tranvía tuvo 27,5 millones de usuarios. Sin embargo, el pliego de condiciones que se redactó para sacar a concurso el sistema estimó que ese año habría 30,9 millones..."*

*...En aquellas condiciones se estableció que si el número de usuarios es inferior a la previsión hasta en un 10%, lo tiene que asumir exclusivamente la sociedad Los Tranvías de Zaragoza. Sin embargo, cuando 'salta' de ese 10%, son el Ayuntamiento y la sociedad los que deben compartir la compensación al 50%.*

*En 2014 hubo un 10,01% menos de los viajeros previstos, por lo que el Ayuntamiento apenas tuvo que participar en afrontar ese 0,01% de menos, que se tradujo en 1.040 euros. Sin embargo, este año ya se ha desviado del límite fijado en un 1,14%, por lo que el Consistorio ha tenido que pagar 138.355 euros. Es la cantidad que corresponde al 50% de la compensación de los 354.620 billetes 'perdidos'. Según confirmaron tanto desde el equipo de Gobierno de Zaragoza En Común como desde Los Tranvías de Zaragoza, ese dinero ya se ha pagado..."*

Habiendo obtenido esta información y con los datos que se han producido en el año 2015 ya se puede calcular la repercusión que tiene el ingreso de un viajero para las arcas de la sociedad del tranvía:

En el año 2015 el Ayuntamiento paga 138.355€ a la sociedad de los tranvías, como se reparten al 50% entre estos la pérdida de ingresos. La pérdida de ingresos supone por lo tanto:  $2 \times 138355 = 276.710\text{€}$

Esta pérdida de ingresos se debe al 1,14% de desviación con respecto al 90% de la demanda prevista (W). Por lo tanto la pérdida de 354.620 billetes (1,14%) supone una pérdida de 276.710€. De esta forma se establece que la repercusión de 1 solo viajero es de:  $276.710/354.620 = 0,7803\text{€}$ .

Obtenido este valor queda claro, por lo tanto, que los ingresos anuales que habrá será el número de viajeros multiplicado por este valor de **0,78€**. Para obtener el ingreso anual será necesario multiplicar la demanda de viajeros anual por 0,78€.

En la siguiente tabla se presentan los ingresos anuales por el uso del tranvía con el MÉTODO#2.

**Tabla 17. Ingresos anuales por el uso del tranvía MÉTODO#2**

<b>AÑO</b>	<b>Viajeros anuales</b>	<b>Ingresos anuales (€)</b>
2011	7.916.269	6.177.065
2012	12.040.000	9.394.812
2013	22.364.314	17.450.875
2014	26.869.683	20.966.415
2015	27.578.757	21.519.705
2016	31.915.993	24.904.051
2017	32.554.099	25.401.965
2018	32.879.843	25.656.143
2019	33.208.532	25.912.619
2020	33.540.700	26.171.810
2021	33.876.080	26.433.507
2022	34.214.673	26.697.711
2023	34.557.012	26.964.838
2024	34.902.563	27.234.471
2025	35.251.594	27.506.820
2026	35.604.105	27.781.885
2027	35.960.095	28.059.664
2028	36.319.565	28.340.158
2029	36.682.782	28.623.576
2030	37.049.746	28.909.918
2031	37.420.190	29.198.976
2032	37.794.381	29.490.957
2033	38.172.320	29.785.863
2034	38.554.006	30.083.692
2035	38.939.706	30.384.654
2036	39.328.887	30.688.332
2037	39.722.349	30.995.350
2038	40.119.560	31.305.294
2039	40.520.785	31.618.370
2040	40.926.025	31.934.579
2041	41.335.279	32.253.920

### 4.3.2 ASPECTOS FUNCIONALES

En este apartado se valoran los aspectos relacionados con el funcionamiento de la línea de tranvía y con el servicio que aporta a la población. Se consideran los dos aspectos siguientes:

- Ahorro de tiempo de desplazamiento
- Ahorro en costes de explotación del autobús urbano

#### 4.3.2.1 Ahorro de tiempo de desplazamiento

Como consecuencia de la puesta en marcha de la línea de tranvía, dentro del sistema de transporte urbano de Zaragoza, se produce una mejora en la

conectividad entre las distintas zonas de la ciudad, que se traduce consecuentemente en una reducción del tiempo de viaje.

El ahorro en tiempo de viaje, en el tramo mecanizado, es una manera de medir el funcionamiento de la red, de tal manera que este ahorro se calcula contrastando el tiempo de viaje con la solución del proyecto y la situación sin proyecto para el mismo recorrido (autobús urbano).

En el cálculo de ahorros de tiempo de viaje se han considerado:

- Ahorros en tiempo de viaje en el interior del tranvía
- Ahorros en tiempo de espera en las paradas

Para el cálculo del ahorro en tiempo en el interior del tranvía, se ha estimado la demanda expresada en viajeros-km que el tranvía capta a cada una de las líneas de autobús.

El ahorro en tiempo de viaje (horas) en el interior del tranvía se ha estimado teniendo en cuenta para cada línea:

- Viajeros-km en autobús captados por el tranvía (Viaj-km captados)
- Velocidad media de recorrido en autobús (datos de TUZSA) ( $V_a$ )
- Velocidad media de recorrido en la línea de tranvía ( $V_t$ )

**Ecuación 3. Fórmula para calcular el ahorro de tiempo de viaje**

$$Ahorro_{tiempodeviaje} = Viaj_{km-captados} \cdot \left( \frac{1}{V_a} - \frac{1}{V_t} \right)$$

El ahorro en tiempos de espera (horas) se ha calculado para cada línea teniendo en cuenta:

- Viajeros de autobús captados por el tranvía (Viaj-captados)
- Intervalo espera medio de espera en autobús ( $I_a$ )
- Intervalo espera medio en tranvía: 5 minutos

**Ecuación 4. Fórmula para calcular el ahorro de tiempo de espera**

$$Ahorro_{tiempoespera} = Viaj_{captados} \cdot (I_a - 5) \cdot \frac{1}{60}$$

Para poder efectuar una estimación de la demanda de viajeros captada por el tranvía, hay que analizar los datos de partida en las diferentes líneas de autobús urbano.

El valor de la captación del tranvía sobre los autobuses se ha establecido en función de la línea, el sentido y la posibilidad de que el tranvía pueda captar el

tráfico en función de la localización de las paradas del tranvía y las paradas de autobús. En el establecimiento de esta captación se ha seguido un criterio realista.

En una primera tarea se ha analizado la funcionalidad de cada línea de autobús con respecto a la línea de tranvía, calificándola en relación con la coincidencia línea bus -tranvía en los siguientes términos:

- CE: Competencia elevada
- CPE: Competencia elevada pero parcial
- CR: Competencia reducida
- Aporte
- Independiente

Estableciendo, dentro de cada término, diferentes niveles que se definen por los parámetros +, o, -.

En la tabla adjunta se refleja el análisis de la funcionalidad de cada línea de autobús con respecto a la línea de tranvía, además se presentan las características de las diferentes líneas de autobús, el número de viajeros captados por el tranvía y el cálculo de los ahorros de tiempo explicados anteriormente.

**Tabla 18. Funcionalidad líneas de autobús y cálculo del ahorro de tiempo de desplazamiento**

Velocidad media del tranvía (km/h):	21
Intervalo medio de paso del tranvía (min):	5

Línea bus	Longitud (ida+vuelta) (km)	Intervalo paso (min)	Velocidad media (km/h)	Demanda (viajeros/día)	Relación coincidencia	Tráfico captado (viajeros/día)	Viajeros captados km	Ahorro tiempo viaje (h/día)	Ahorro tiempo espera (h/día)
20	18,3	9	13,7	20.798	CPE	15.061	823,01	20,88	1.004,07
21	13,0	8	15,4	10.417	APORTE+	260	20,00	0,35	13,00
22	19,6	8	13,1	16.230	APORTE				
23	18,4	7	12,7	23.656	CPE	14.154	769,24	23,94	471,80
24	19,9	6	13,7	26.020	APORTE				
25	30,1	15	18,9	6.791	APORTE				
27	14,1	60	14,0	423	APORTE				
28	36,0	24	24,4	2.938	CR	97	2,69	-0,02	30,72
29	23,2	11	14,5	12.181	CR	667	28,75	0,61	66,70
30	13,4	7	12,2	23.851	CR	13.430	1.002,24	34,43	447,67
31	16,5	14	12,2	7.771	APORTE-				
32	21,6	9	14,8	19.052	APORTE				
33	13,2	7	11,3	25.084	APORTE	1.553	117,65	4,81	51,77
34	13,2	8	12,4	13.813	APORTE	1.625	123,11	4,07	81,25
35	27,4	9	14,8	22.951	APORTE+	4.580	167,15	3,33	305,33
36	19,2	11	14,2	8.357	APORTE	103	5,36	0,12	10,30
38	16,0	8	11,8	17.259	APORTE+	168	10,50	0,39	8,40
39	14,2	7	12,4	14.285	APORTE-				
40	14,6	6	11,4	22.191	CPE+	10.391	711,71	28,54	173,18
41	14,7	26	14,9	3.158	CPE+	1.146	77,96	1,52	401,10
42	26,4	7	14,9	25.172	CR-	2.515	95,27	1,86	83,83
43	13,2	29	13,2	1.684	CE	1.208	91,52	2,58	483,20
44	16,5	13	16,3	6.000	APORTE				
45	25,3	15	16,1	5.648	CPE	2.523	99,72	1,45	420,50
50	20,0	17	17,7	3.651	CR	431	21,55	0,19	86,20
51	6,7	13	11,8	1.671	APORTE				

<b>TOTAL (al día por el tranvía):</b>	<b>69.912</b>	<b>129,04</b>	<b>4.139,02</b>
<b>TOTAL (al año por el tranvía):</b>	<b>25.517.880</b>	<b>47.099,42</b>	<b>1.510.741,08</b>
<b>Ahorro total tiempo desplazamiento (horas/año):</b>		<b>1.557.840,51</b>	

Como ya se ha indicado en varias ocasiones, la línea del tranvía se ejecutó en dos fases diferentes, la primera concluyó en 2011 y la segunda en 2013. Los datos arriba indicados, sobre el ahorro de tiempo de desplazamiento, se refieren a la situación de todo el trazado del tranvía concluido y en servicio. Por ese motivo, en los años 2011 y 2012 el tiempo de ahorro en desplazamientos será inferior, se supone por lo tanto que en los años 2011 y 2012 el ahorro de tiempo supondrá un 40% del tiempo que se ahorra con toda la línea en servicio.

**Tabla 19. Ahorro tiempo desplazamiento en función del año de estudio**

AÑO	% ahorro tiempo	Ahorro tiempo desplazamiento (horas/año)
2011	40	623.136,20
2012	40	623.136,20
de 2013 a 2041	100	1.557.840,51



La valoración de los ahorros en tiempo de viaje representa un elemento clave para la evaluación de los proyectos de transportes, ya que representa uno de los principales beneficios que se derivan de una nueva infraestructura.

El tiempo de viaje puede considerarse uno de los principales determinantes de la rentabilidad de los proyectos de transporte, y habitualmente el ahorro que pueda originarse en estos tiempos supone el beneficio generado más importante.

El valor del tiempo varía claramente según el motivo de viaje. Es habitual considerar dos motivos: trabajo y ocio. Para el primero, un valor que se puede aproximar bastante a la percepción del usuario podría ser el precio de salario bruto por hora. Éste puede extraerse de las publicaciones de la Comisión Europea en su Guía sobre el ACB de los Proyectos de Inversión Pública (2014).

Para estimar el valor del tiempo por motivos de ocio, existen multitud de Estudios que establecen metodologías para la obtención del mismo en base a encuestas de usuarios (Transfer Price y Stated Preference). Todas ellas analizan la elasticidad de la demanda, relacionando coste y tiempo y maximizando la función de utilidad establecida. En líneas generales, el valor del tiempo de viaje por ocio resulta inferior al coste asociado al trabajo, situándose entre un 40%-75% del coste salarial.

Para la determinación de los porcentajes de reparto según motivo, se propone utilizar Estudios de movilidad realizados en la zona de estudio o en su defecto los resultados de diferentes estudios.

Se exponen a continuación los valores que aparecen en la Guía sobre el ACB de los Proyectos de Inversión Pública (2014) de la Comisión Europea en el que se asocia el coste del ahorro del tiempo, en función del modo de transporte y motivo del viaje.

**Tabla 20. Valor del tiempo en función del modo de transporte y del motivo de viaje (EC, 2014)**

Travel purpose	Share of trips by travel purpose		Value of time (EUR/h)	
	Public transport	Private transport	Public transport	Private transport
Work	35 %	45 %	9	11
Non-work	65 %	55 %	3.6	4.4

Con todos los datos que se han presentado, ya se puede obtener la valoración monetaria del ahorro de tiempo de desplazamiento que supone el tranvía frente al autobús urbano. Los resultados se exponen a continuación:

**Tabla 21. Valoración monetaria del ahorro de tiempo de desplazamiento**

AÑO	Ahorro tiempo desplazamiento (horas/año)	Ahorro tiempo (Motivo Trabajo 35%)	Ahorro tiempo (Motivo Ocio 65%)	Valor (Motivo Trabajo 9€/h)(€/año)	Valor (Motivo Ocio 3,6€/h)(€/año)	Valor monetario ahorro tiempo desplazamiento (€/año)
2011	623.136,20	218.097,67	405.038,53	1.962.879,04	1.458.138,72	<b>3.421.017,76</b>
2012	623.136,20	218.097,67	405.038,53	1.962.879,04	1.458.138,72	<b>3.421.017,76</b>
de 2013 a 2041	1.557.840,51	545.244,18	1.012.596,33	4.907.197,60	3.645.346,79	<b>8.552.544,39</b>

#### 4.3.2.2 Ahorro en costes de explotación del autobús urbano

La puesta en servicio del tranvía capta viajeros al autobús, lo que permite reducir la oferta de autobús urbano. Esta reducción supone un ahorro en el gasto de la explotación de los autobuses urbanos.

Como ya se ha indicado anteriormente, el inicio de la explotación comercial de la línea completa del tranvía entre Valdespartera y Parque Goya, ha provocado en la ciudad una importante modificación en la red de autobús urbano.

Esta reordenación del servicio de autobús urbano de la ciudad, se traduce, básicamente, en una reducción del número de kilómetros recorridos anualmente por los autobuses a partir del año 2013. Se ha pasado a unos 17.400.000 kilómetros anuales, un 15,3% menos que los 20.500.000 kilómetros anteriores.

**Tabla 22. Evolución del nº de km recorridos por el servicio de autobús urbano**

AÑO	(km)
Antes de 2013	20.500.000
Después de 2013	17.400.000
Diferencia	3.100.000

Esta reducción del número de kilómetros recorridos supone un ahorro en el gasto de la explotación de los autobuses urbanos.

A continuación se presenta el listado con los costes de operación y mantenimiento que supone cada kilómetro recorrido por el servicio de autobuses de la ciudad de Zaragoza (año 2013).

**Tabla 23. Costes de operación y mantenimiento del servicio de autobuses urbano**

Concepto	Coste (€/km)
Personal de Explotación	2,24
Personal. Otros de mantenimiento	0,37
Consumos (combustibles, consumibles, neumáticos)	0,60
Conservación y Seguros	0,39
Generales	0,10
<b>TOTAL (€/km):</b>	<b>3,71</b>

Con todos los datos que se han presentado, ya se puede obtener la valoración monetaria del ahorro en los costes de explotación del servicio de autobús urbano a partir del año 2013. Este valor asciende a la cantidad de:

**Tabla 24. Valoración monetaria del ahorro en costes de explotación del servicio de autobús urbano**

AÑO	km reducidos	Coste (€/km)	Ahorro costes explotación autobús (€/año)
de 2013 a 2041	3.100.000	3,71	11.510.300

### 4.3.3 ASPECTOS RELACIONADOS CON EL TRÁFICO

Como es evidente, la implantación de una línea de tranvía en una ciudad genera unos efectos sobre la morfología de la ciudad y sobre las costumbres de los ciudadanos. La aparición del tranvía en la ciudad de Zaragoza ha supuesto, por lo tanto, un cambio en los aspectos relacionados con el tráfico de vehículos, el tráfico peatonal, y sobre la red viaria que los soporta. Además, dichas modificaciones en la morfología de la ciudad y en las costumbres de los zaragozanos ha supuesto una variación en la accidentalidad del tráfico.

#### 4.3.3.1 Afcción al tráfico de vehículos

Para tratar de evaluar cómo afecta al tráfico de vehículos privados la implantación del tranvía, se va a analizar la modificación que éste ha generado sobre la red viaria y que consecuencias ha supuesto.

En este ámbito, los tramos viarios por donde discurre la línea tranviaria presentan una disminución de su capacidad (es decir del número de vehículos/hora que pueden circular por ella), e incluso en algunas calles provoca la eliminación de todo movimiento de vehículos privados por ellas.

En muchos casos se ha producido una peatonalización parcial o total de la calle, manteniendo el acceso al tráfico de vehículos de servicio público (servicios sanitarios, bomberos, protección civil, etc.).

Esta disminución de la capacidad se observa, de forma rápida e intuitiva, analizando el número de carriles destinados a la circulación de vehículos en las calles por las que circula el tranvía, antes y después de su implantación. Para el cálculo de la capacidad se ha utilizado de forma muy simplificada la metodología basada en el Manual de Capacidad (Highway Capacity Manual 2000). El resultado obtenido se ha homogeneizado para todos los carriles, para todas las vías con una capacidad de 825 vehículos/hora. Se adjuntan aquí, las tablas con el número de carriles y las capacidades viarias en la situación precedente al tranvía y en la actual.

**Tabla 25. Capacidades viarias (sentido norte – sur)**

<b>Trazado Tranvía Sentido Norte - Sur</b>				
<b>Avda / Calle</b>	<b>Situación antes del tranvía</b>		<b>Situación con tranvía</b>	
	<b>Carriles</b>	<b>Capacidad horaria vía</b>	<b>Carriles</b>	<b>Capacidad horaria vía</b>
Majas de Goya	2	1.650	1	825
Luciano Gracia	2	1.650	2	1.650
Gómez Avellaneda-Carrefour	3	2.475	2	1.650
Gómez Avellaneda-Pablo Picasso	3	2.475	2	1.650
Gómez Avellaneda-Valle Broto	3	2.475	2	1.650
Ranillas	1	825	1	825
Puente Santiago	3	2.475	2	1.650
César Augusto-Murallas	1	825	0	0
César Augusto-Mercado Central	1	825	0	0
Coso-Pza España	1	825	0	0
Independencia-Pza.Aragón	3	2.475	1	825
Gran Vía-Pza.Paraíso	2	1.650	1	825
Fernando El Católico	3	2.475	1	825
Isabel La Católica	3	2.475	2	1.650
Vía Ibérica	3	2.475	2	1.650
Paseo Los Olvidados	2	1.650	2	1.650
Los Pájaros y La Ventana Indiscreta	2	1.650	2	1.650

**Tabla 26. Capacidades viarias (sentido sur - norte)**

<b>Trazado Tranvía Sentido Sur - Norte</b>				
<b>Avda / Calle</b>	<b>Situación antes del tranvía</b>		<b>Situación con tranvía</b>	
	<b>Carriles</b>	<b>Capacidad horaria vía</b>	<b>Carriles</b>	<b>Capacidad horaria vía</b>
Los Pájaros y La Ventana Indiscreta	2	1.650	2	1.650
Paseo Los Olvidados	2	1.650	2	1.650
Vía Ibérica	3	2.475	2	1.650
Isabel La Católica	3	2.475	2	1.650
Fernando El Católico	3	2.475	1	825
Gran Vía-Pza.Paraiso	2	1.650	1	825
Independencia-Pza.Aragón	3	2.475	1	825
Coso-Pza España	2	1.650	0	0
César Augusto-Mercado Central	2	1.650	0	0
César Augusto-Murallas	3	2.475	0	0
Puente Santiago	3	2.475	1	825
Ranillas	3	2.475	2	1.650
Gómez Avellaneda-Valle Broto	3	2.475	2	1.650
Gómez Avellaneda-Pablo Picasso	3	2.475	2	1.650
Gómez Avellaneda-Carrefour	3	2.475	2	1.650
Luciano Gracia	2	1.650	2	1.650
Majas de Goya	2	1.650	1	825

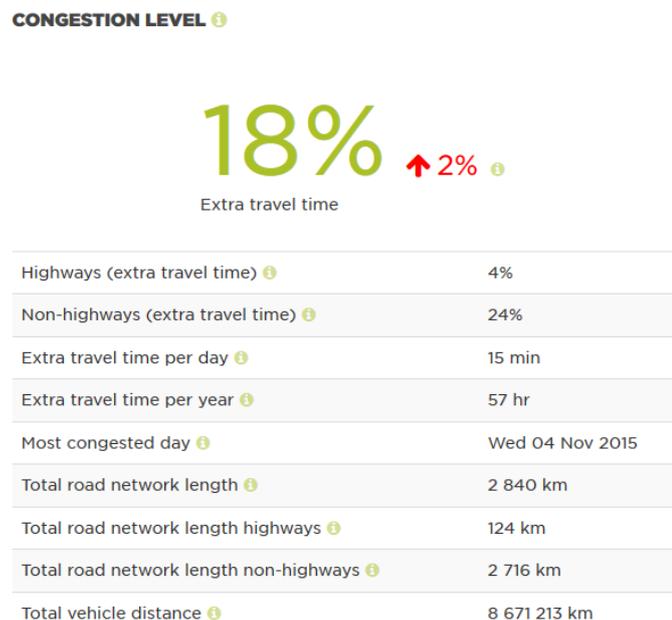
Las propias características del tranvía y su funcionamiento, han provocado otros cambios en el tráfico rodado de los vehículos. Quizás la característica que más afecta a los vehículos es la prioridad semafórica del tranvía. Cada vez que un tranvía se acerca a un cruce tiene prioridad semafórica y el tráfico para los vehículos se detiene. El contexto por el que circula el tranvía en Zaragoza cuenta con unos 13 cruces por kilómetro. El sistema se basa en unas balizas que detectan el paso de las unidades y una red de semáforos inteligentes que varían sus fases, para otorgar siempre un paso preferente al tranvía. Esta tecnología permite una mayor velocidad comercial y una fácil adaptación de sus frecuencias, lo que se traduce en una mayor comodidad y puntualidad de los usuarios, además de un considerable ahorro de energía, al mantener la marcha estable. Este aspecto es muy importante y ha afectado a numerosos cruces a lo largo de toda la ciudad. Además, a lo largo del trazado se han suprimido algunos movimientos entre calles que antes estaban permitidos. Son aquellos movimientos de vehículos privados que, debido a la implantación del tranvía, han dejado de producirse en los cruces, pudiéndose canalizar por itinerarios alternativos. La aparición del tranvía también ha afectado a las plazas de aparcamiento de numerosas calles, en las que se han suprimido la mayoría.

Todos estos cambios han provocado dos grandes efectos en el tráfico rodado de la ciudad. El primero de ellos es que el tiempo de viaje en vehículo se ha visto

incrementado notablemente, provocando un malestar general entre los conductores. Por una parte, numerosos usuarios del vehículo privado ahora utilizan el tranvía. Del resto de usuarios, muchos buscan un recorrido alternativo (aunque implique un aumento medio del tiempo de recorrido) y otros siguen realizando el mismo (que en este caso implica un mayor aumento medio del tiempo de recorrido). El segundo de los efectos es la reducción del tráfico de vehículos por la ciudad. El número de vehículos que circulan ha disminuido notablemente, sobre todo en las calles y avenidas del eje del tranvía.

En cuanto al aumento del tiempo de viaje y para estimar dicho valor, se ha recurrido a dos herramientas. Google Maps tiene una herramienta que estima los tiempos de recorrido en función del tráfico de las calles y su congestión, obteniéndose una posible variación en recorridos estándar por el centro de Zaragoza de hasta 14 minutos. Por otra parte, la empresa de navegadores GPS TomTom realiza cada año un estudio sobre el tráfico en diferentes ciudades y se trata del barómetro más preciso del mundo en zonas urbanas. El informe es el único que está basado en datos reales de tiempo de desplazamiento captados por los vehículos que circulan por todas las calles de la red vial. La metodología utilizada por TomTom compara los tiempos de recorrido durante los períodos no congestionados (tráfico fluido), con los tiempos de desplazamiento en las horas punta. La diferencia se expresa en un porcentaje de incremento en el tiempo que dura el trayecto. Además en el estudio aparece el tiempo extra de viaje en situación de congestión, y este valor es de 15 minutos.

**Tabla 27. Datos de tráfico para la ciudad de Zaragoza (estudio TomTom)**



Por lo tanto y para mantenernos en un rango normal, se ha optado por tomar una media de 7 minutos de diferencia en el tiempo de viaje entre la situación previa y la final. De esta forma, la implantación del tranvía supone un coste para la sociedad, debido al aumento del tiempo de viaje por la ciudad de Zaragoza en vehículo privado.

En cuanto a la reducción del tráfico de vehículos por la ciudad se han analizado diferentes datos, intensidades medias diarias (IMD), de algunas estaciones de aforo facilitadas por el Servicio de Movilidad Urbana del Ayuntamiento de Zaragoza. Se van a mostrar los resultados obtenidos en calles que atraviesa el tranvía, perpendiculares y las paralelas más próximas (que corresponden a un trazado alternativo). Para poder observar bien el efecto posterior que ha provocado el tranvía, se ha optado por comparar los años 2007 y 2014. Las IMD mostradas son de días laborables y no se han tenido en cuenta los meses estivales de julio y agosto, ni periodos vacacionales como Navidades o Semana Santa.

**Tabla 28. Evolución de la IMD**

Trazado Tranvía Sentido Norte - Sur					
Avda / Calle	De:	A:	IMD 2007	IMD 2014	% Variación
Majas de Goya (IMD 2010)	Academia G.Militar	Crtra.Huesca	4.602	1.543	-66,47%
Majas de Goya (IMD 2010)	Crtra.Huesca	Rafael Esteve	3.617	2.121	-41,36%
Luciano Gracia (IMD 2010)	Vial Norte	Mariano Esquillor	4.659	4.925	5,71%
Luciano Gracia (IMD 2010)	María de Luna	Miguel Luesma	7.551	4.453	-41,03%
Gertrudis Gómez Avellaneda	J. Cortazar	P.R.Picasso	20.712	12.672	-38,82%
Gertrudis Gómez Avellaneda	P.R.Picasso	C.Campoamor	21.679	14.667	-32,34%
Gertrudis Gómez Avellaneda	M.Pineda	Valle Broto	26.563	15.282	-42,47%
Gertrudis Gómez Avellaneda	Valle Broto	Ortilla	15.111	10.790	-28,60%
Avda. Ranillas	M.Zambrano	Avda.Pirineos	7.580	4.928	-34,99%
Puente Santiago	Avda.Pirineos	P.Echegaray	16.242	10.649	-34,44%
Avda.Cesar Augusto	P.Echegaray	Aben Aire	6.086	0	-100,00%
Paseo Independencia	Pza.España	Cinco Marzo	10.653	6.437	-39,58%
Pza.Aragón	Independencia	Paraíso	6.250	5.008	-19,87%
Gran Vía	M.Royo	Domenech	14.848	6.567	-55,77%
Gran Vía	Alferez Provisional	Goya	14.592	5.599	-61,63%
Fernando Católico	Goya	B.Mariano	20.822	6.915	-66,79%
Fernando Católico	B.Mariano	S.Juan de la Cruz	18.885	5.421	-71,29%
Fernando Católico	S.Francisco	A.G.Soler	16.280	6.770	-58,42%
Fernando Católico	L.Vives	Carlos V	34.541	14.306	-58,58%
Isabel La Católica	Carlos V	L.Bermejo	26.069	13.833	-46,94%
Vía Ibérica	Hispanidad	Escuela	20.784	10.328	-50,31%
Vía Ibérica	Argualas	Gómez Laguna	12.591	9.658	-23,29%
<b>Reducción vehículos:</b>	<b>157.845</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>330.717</b>	<b>172.872</b>	<b>-47,73%</b>

**Tabla 29. Evolución de la IMD**

Trazado Tranvía Sentido Sur - Norte					
Avda / Calle	De:	A:	IMD 2007	IMD 2014	% Variación
Vía Ibérica	Gómez Laguna	Argualas	10.232	11.557	12,95%
Vía Ibérica	Escuela	Hispanidad	21.163	13.755	-35,00%
Isabel La Católica	L.Bermejo	Carlos V	24.612	13.924	-43,43%
Fernando Católico	Carlos V	L.Vives	15.273	7.055	-53,81%
Fernando Católico	A.G.Soler	S.Francisco	16.860	7.125	-57,74%
Fernando Católico	S.Juan de la Cruz	B.Mariano	22.341	4.410	-80,26%
Fernando Católico	B.Mariano	Goya	18.351	5.933	-67,67%
Gran Vía	Goya	Alferez Provisional	14.454	5.133	-64,49%
Gran Vía	Domenech	M.Royo	13.839	5.644	-59,22%
Pza.Aragón	Paraíso	Independencia	16.603	6.932	-58,25%
Paseo Independencia	Cinco Marzo	Pza.España	13.713	5.002	-63,52%
Coso	Pza.España	Alfonso I	14.168	0	-100,00%
Coso	Valenzuela	C.Augusto	15.938	1.961	-87,70%
Avda.Cesar Augusto	Aben Aire	P.Echegaray	24.166	0	-100,00%
Puente Santiago	P.Echegaray	Avda.Pirineos	19.828	3.078	-84,48%
Avda. Ranillas	Avda.Pirineos	M.Zambrano	11.370	7.884	-30,66%
María Zambrano	M.Mayayo	Valle Broto	20.317	10.858	-46,56%
María Zambrano	Valle Broto	N.Guillén	30.637	17.326	-43,45%
María Zambrano	P. Neruda	P.R.Picasso	20.828	10.819	-48,06%
María Zambrano	P.R.Picasso	A.Aznar	23.787	16.972	-28,65%
Luciano Gracia (IMD 2010)	Miguel Luesma	María de Luna	6.674	4.154	-37,76%
Luciano Gracia (IMD 2010)	Mariano Esquillor	Vial Norte	5.271	5.313	0,80%
Majas de Goya (IMD 2010)	Rafael Esteve	Crtra.Huesca	5.645	2.584	-54,22%
Majas de Goya (IMD 2010)	Crtra.Huesca	Academia G.Militar	3.543	2.619	-26,08%
<b>Reducción vehículos:</b>	<b>219.575</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>389.613</b>	<b>170.038</b>	<b>-56,36%</b>

**Tabla 30. Evolución de la IMD**

Calles paralelas (alternativas) al trazado del Tranvía				
Avda / Calle	Sentido	IMD 2007	IMD 2014	% Variación
Avda.Ranillas	L.L.Lacambra-P.R.Picasso	9.985	9.530	-4,56%
Avda.Ranillas	P.R.Picasso-L.L.Lacambra	8.923	10.356	16,06%
Avda.Ranillas	P.R.Picasso-C.Campoamor	4.673	5.900	26,26%
Avda.Ranillas	C.Campoamor-P.R.Picasso	7.269	8.158	12,23%
Avda.Pirineos	P.R.Picasso-Valle Broto	28.999	20.655	-28,77%
Avda.Pirineos	Valle Broto-P.R.Picasso	23.683	20.581	-13,10%
Pte.de la Almozara	Pza.Europa-Avda.Ranillas	28.256	23.404	-17,17%
Pte.de la Almozara	Avda.Ranillas-Pza.Europa	39.648	28.729	-27,54%
P.María Agustín	C. Aranda- B. Boggiero	25.471	28.154	10,53%
P.María Agustín	B.Boggiero-C.Aranda	31.082	18.374	-40,89%
P.María Agustín	J.M.Sevilla-Anselmo Clave	30.698	19.513	-36,44%
P.María Agustín	Anselmo Clave-J.M.Sevilla	16.260	15.633	-3,86%
Paseo Teruel	Princesa-Avda.Goya	14.474	11.783	-18,59%
Hernan Cortés	Fco.Pizaro-P.Pamplona	12.647	9.359	-26,00%
Avda.Valencia	F.Escoriaza-Lérida	18.215	16.139	-11,40%
Avda.Valencia	J.García-F.López	18.539	21.301	14,90%
San Juan Bosco	P.López-Corona de Aragón	17.000	13.407	-21,14%
San Juan Bosco	Corona de Aragón-P.López	22.391	19.692	-12,05%
Gómez Laguna	J.Carlos Borbón-V.Universitas	18.782	18.549	-1,24%
Gómez Laguna	V.Universitas-J.Carlos Borbón	23.963	24.008	0,19%
	<b>TOTAL:</b>	<b>400.958</b>	<b>343.225</b>	<b>-14,40%</b>
	<b>Reducción vehículos:</b>	<b>57.733</b>		

**Tabla 31. Evolución de la IMD**

Calles perpendiculares al trazado del Tranvía				
Avda / Calle	Sentido	IMD 2007	IMD 2014	% Variación
Luis Legaz	G. Avellaneda	4.330	3.632	-16,12%
Luis Legaz	G.Avellaneda-Octavio Paz	4.620	3.358	-27,32%
Adolfo Aznar	Beltrán-M.Zambrano	2.926	2.926	0,00%
Adolfo Aznar	M.Zambrano-Beltrán	6.756	6.855	1,47%
Pablo Ruiz Picasso	E.P.Bazán-G.Avellaneda	15.943	13.584	-14,80%
Pablo Ruiz Picasso	G.Avellaneda-E.P.Bazán	13.082	11.457	-12,42%
Pablo Ruiz Picasso	A.Saura-M.Zambrano	16.636	15.053	-9,52%
Pablo Ruiz Picasso	M.Zambrano-Antonio Saura	13.065	12.741	-2,48%
Clara Campoamor	G. Avellaneda-Z.Sotomayor	5.780	4.199	-27,35%
Clara Campoamor	Z.Sotomayor-G.Avellaneda	4.971	2.262	-54,50%
Pablo Neruda	R.Alberti-M.Zambrano	4.668	4.001	-14,29%
Pablo Neruda	M.Zambrano-Rafael Alberti	5.817	4.611	-20,73%
Valle Broto	Avda.Ranillas-G. Avellaneda	19.905	20.682	3,90%
Valle Broto	G.Avellaneda-Avda.Ranillas	32.582	23.563	-27,68%
Valle Broto	Avda.Pirineos-M.Zambrano	26.046	22.239	-14,62%
Valle Broto	M.Zambrano-Avda.Pirineos	26.870	16.755	-37,64%
Avda.Pirineos	Valle Broto-Avda.Ranillas	17.182	9.071	-47,21%
Avda.Pirineos	Avda.Ranillas-Valle Broto	14.052	6.760	-51,89%
Paseo Echegaray	Postigo del Ebro-R.Celma	7.010	5.044	-28,05%
Paseo Echegaray	R.Celma-Postigo del Ebro	10.592	12.653	19,46%
Paseo Echegaray	Salduba-F.Jardiel	23.577	19.143	-18,81%
Conde Aranda	Martín-César Augusto	2.339	0	-100,00%
Conde Aranda	César Augusto-Martín	7.398	7.984	7,92%
Cesar Augusto	Telesforo Peromarta-R.Pignatelli	15.405	5.912	-61,62%
Cesar Augusto	R.Pignatelli-Telesforo Peromarta	10.069	4.646	-53,86%
Coso	J.Blancas-Josefa Amar y Borbón	13.632	4.298	-68,47%
Coso	Josefa Amar y Borbón-J.Blancas	8.884	5.770	-35,05%
P. María Agustín	Jesús Muro -José A. Clave	30.698	19.513	-36,44%
P. María Agustín	José A. Clave-Jesús Muro	16.260	15.633	-3,86%
Paseo Pamplona	Doctor Cerrada-Paraíso	31.100	19.844	-36,19%
Paseo Pamplona	Paraíso-Doctor Cerrada	24.674	19.341	-21,61%
Paseo Constitución	A.Yarza-Paraíso	19.034	13.600	-28,55%
Paseo Constitución	Paraíso-A.Yarza	15.525	13.619	-12,28%
Paseo Sagasta	León XIII-Paraíso	9.359	9.419	0,64%
Paseo Sagasta	Paraíso-León XIII	13.548	13.897	2,58%
Avda.Goya	Perpetuo Socorro-Domenech	15.223	11.320	-25,64%
Avda.Goya	Domenech-Perpetuo Socorro	14.003	11.748	-16,10%
Avda.Goya	B.Gracián-Fdo.Católico	13.845	12.835	-7,30%
Avda.Goya	Fdo.Católico-B.Gracián	18.338	13.952	-23,92%
Bretón	Fdo.Católico-B.Gracián	16.055	14.301	-10,92%
Mariano Barbasán	F.Latassa-Fdo.Católico	15.828	12.635	-20,17%
Corona de Aragón	B.Gracián-Fdo.Católico	18.063	16.620	-7,99%
Juan de la Cruz	F.Latassa-Santa Teresa	16.599	17.365	4,61%
Violante Hungría	P.Cerbuna-E.Ibarra	11.393	4.471	-60,76%
Violante Hungría	E.Ibarra-P.Cerbuna	5.306	13.617	156,63%
Manuel Lasala	Mariano Renovales	19.320	16.620	-13,98%
Vía Hispanidad	Isabel Católica-Asín y Palacios	18.391	17.483	-4,94%
Vía Hispanidad	Asín y Palacios-Isabel Católica	20.485	14.883	-27,35%
Ronda Hispanidad	F.J.Garcés-Vía Ibérica	17.090	14.983	-12,33%
Ronda Hispanidad	Vía Ibérica-F.J.Garcés	19.223	16.660	-13,33%
Gómez Laguna	Belle Epoque-Vía Ibérica	8.368	5.362	-35,92%
Gómez Laguna	Vía Ibérica-Belle Epoque	7.830	4.124	-47,33%
<b>TOTAL:</b>		<b>749.695</b>	<b>593.044</b>	<b>-20,90%</b>
<b>Reducción vehículos:</b>		<b>156.651</b>		

Ya en el año 2014, casi año y medio después de que la línea completa del tranvía empezara a funcionar, el tráfico privado en las calles disminuyó con independencia de la zona que se estudie. Los sistemas de aforo constatan que se ha producido un descenso del tráfico de alrededor de un 52% en el eje tranviario con respecto a 2007. Esta situación varía según la calle, y en algunas zonas la reducción supone hasta un 80%. Sin embargo, como ya se ha dicho anteriormente, los conductores han tenido que acostumbrarse a evitar el corazón de la ciudad para hacer sus desplazamientos y han optado mayoritariamente por los cinturones para ir de un barrio a otro.

De todos estos valores obtenidos, se hace posible obtener una IMD media en el centro de la ciudad de Zaragoza y conociendo el aumento de tiempo de viaje que ha provocado la implantación del tranvía (recordamos que este tiempo se ha estimado en 7 minutos), somos capaces de estimar el número de horas que se pierden (coste social) en el tráfico rodado debido a esta nueva situación. Esta IMD media en el centro de la ciudad y en las zonas afectadas por el tranvía se ha estimado en torno a los 43.500 vehículos diarios. Para su obtención se ha realizado la media de las IMD de las zonas por las que discurre el tranvía y las contiguas.

Tomando como valor del tiempo (en función del motivo del viaje) el ya utilizado anteriormente en el presente trabajo (ver Tabla 20), se puede llegar a estimar el coste obtenido por la afección del tranvía al tráfico de vehículos privados en la ciudad.

**Tabla 32. Valoración monetaria del aumento de tiempo de desplazamiento**

AÑO	Aumento tiempo desplazamiento (horas/año)	Aumento tiempo (Motivo Trabajo 45%)	Aumento tiempo (Motivo Ocio 55%)	Valor (Motivo Trabajo 11€/h)(€/año)	Valor (Motivo Ocio 4,4€/h)(€/año)	Valor monetario aumento tiempo desplazamiento (€/año)
de 2013 a 2041	1.852.375,00	833.568,75	1.018.806,25	9.169.256,25	4.482.747,50	<b>13.652.003,75</b>

Es evidente que la reducción del tráfico de vehículos por la ciudad de Zaragoza provoca otros impactos, los cuales serán analizados más adelante.

#### **4.3.3.2 Afección a la accidentalidad en la ciudad**

En el apartado anterior se han explicado algunas de las modificaciones que ha supuesto el tranvía de Zaragoza para la morfología de la ciudad, pero existen otras. La llegada del tranvía supuso la realización de transformaciones urbanísticas de las zonas por donde iba a pasar el trazado del mismo. Cabe destacar la



peatonalización de numerosas calles y amplias zonas en la ciudad, pero además se aprovechó para construir carriles bici paralelos al recorrido del tranvía.

De esta forma se ha producido un crecimiento exponencial de kilómetros de carril bici, de 13 kilómetros en 2003 se ha pasado a más de 115 en estos momentos y en parte gracias a la llegada del tranvía. Se estima que un 21% de esos kilómetros se han ejecutado gracias al tranvía y son paralelos a su traza, sin embargo la importancia de un carril bici en el eje vertebrador, que es el trazado tranviario, es altísima ya que la mayoría de los trayectos en bicicleta se desarrollan por el centro de la ciudad.

**Tabla 33. Evolución del nº de km de carril bici en la ciudad**

AÑO	Longitud carril bici (km)
2003	13
2008	78
2009	92
2011	103
2014	116

Esta renovación producida en la ciudad se ha traducido, asimismo, en la disminución en la intensidad del tráfico privado en paralelo a esta línea, con la consiguiente eliminación de coches del corazón de la ciudad. La nueva movilidad de Zaragoza tiene, además del tranvía, otro elemento nuevo: la bicicleta que es, ya hoy, un protagonista de la movilidad urbana, un medio de transporte más en el que se realizan unos 80.000 desplazamientos diarios.

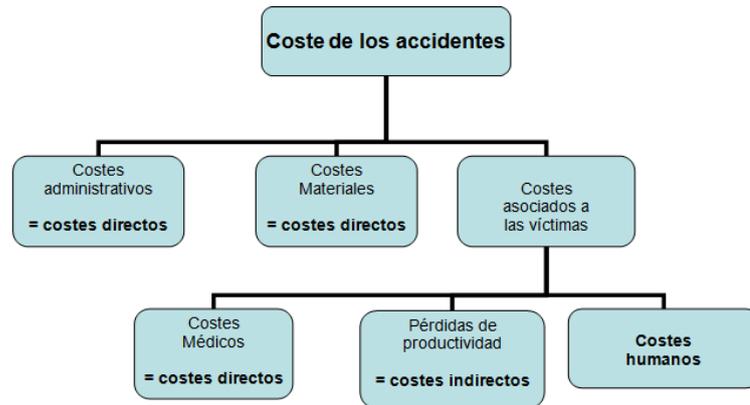
Este nuevo panorama que se ha producido en Zaragoza en estos últimos años debido a la implantación del tranvía, ha provocado una reducción del número de accidentes de tráfico que se producen en la ciudad. Consultando los datos de accidentalidad desde el año 2000, se observa una tendencia a la baja en todos los aspectos (número de accidentes, heridos, fallecidos, etc.), debido fundamentalmente a la reducción y eliminación del tráfico de vehículos por el centro de la ciudad. A continuación se presentan los datos sobre los accidentes producidos en los últimos años.

**Tabla 34. Datos de accidentalidad de la ciudad de Zaragoza**

AÑO	Accidentes de tráfico		Fallecidos		Heridos Graves		Heridos Leves	
	Valor anual	Reducción	Valor anual	Reducción	Valor anual	Reducción	Valor anual	Reducción
2000 a 2010	4.157	0	8	0	165	0	1.488	0
2011	3.405	752	4	4	137	28	967	521
2012	3.316	841	6	2	122	43	910	578
2013	2.854	1.303	2	6	122	43	993	495
2014	2.953	1.204	4	4	129	36	1.134	354
2015	3.075	1.082	3	5	123	42	1.093	395
2016 a 2041	3.405	752	6	2	137	28	1.134	354

Además, en esta tabla, se ha realizado una previsión sobre la accidentalidad futura. Para estimar el número de accidentes que se van a producir, y como se trata de unos valores que no podemos conocer y que tienen una alta variabilidad, se ha decidido tomar los datos del año más desfavorable (año en el que se ha producido el mayor número de accidentes), de entre los años en los que ya se encuentra en funcionamiento el tranvía de Zaragoza (de 2011 a 2015, donde se observa una reducción de la accidentalidad). Para obtener la reducción, se toma como referencia los datos medios de la década anterior a la implantación del tranvía (de 2000 a 2010). De esta forma es posible cuantificar la reducción en la accidentalidad que ha supuesto la llegada del tranvía.

Uno de los beneficios que representa una nueva infraestructura es la mejora de la seguridad viaria respecto a la situación precedente. Esto supone, una disminución de los costes derivados de los accidentes producidos y por tanto de un beneficio para la sociedad a lo largo de toda la vida útil considerada. En el cálculo del coste de los accidentes de tráfico o, visto de otra manera, en la estimación del beneficio asociado a su prevención, se incluyen los elementos o componentes que se muestran a continuación:



**Figura 11. Coste de los accidentes de tráfico**

Para la estimación del coste agregado de los accidentes, deben contemplarse los últimos valores oficiales publicados. Estos últimos datos oficiales son de la Dirección General de Tráfico y del año 2011. Teniendo en cuenta estos valores, se supone un coste de 1.400.000 € al hecho de evitar una víctima mortal, 219.000 € a prevenir un herido grave y 6.100 € un herido leve.

En cuanto a los accidentes que no implican heridos o fallecidos, que son por suerte la mayoría, hay que tener en cuenta los costes materiales que se provocan. Estos costes se deben a daños sobre vehículos, propiedades o mobiliario urbano. Para la Dirección General de Tráfico estos daños, únicamente materiales, suponen unos 6.000 €; pero se trata de un dato para accidentes en carretera. Se estima por lo tanto que para accidentes urbanos, en los que la velocidad es mucho más baja, los costes materiales suponen unos 3.000 €. De esta forma los costes agregados de los accidentes se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 35. Coste agregado de los accidentes de tráfico**

Coste agregado de los accidentes (€)			
Fallecidos	Heridos Graves	Heridos Leves	Accidentes de tráfico (daños materiales)
1.400.000	219.000	6.100	3.000

Se entiende que tanto los costes de los accidentes con fallecidos, heridos graves o leves ya incluyen los costes propios (daños materiales) del accidente de tráfico. Es decir, las cantidades de 1.400.000 €, 219.000 € y 6.100 € ya incluyen los costes de 3.000 € de los daños materiales.

Conociendo la reducción en la accidentalidad que ha provocado la implantación del tranvía y los costes agregados de los accidentes, somos capaces de estimar los beneficios obtenidos por dicho motivo:

**Tabla 36. Valoración monetaria de la reducción de la accidentalidad**

AÑO	Accidentes de tráfico			Fallecidos		Heridos Graves		Heridos Leves		Beneficio total accidentalidad (€/año)
	Reducción	Sin fallecido, grave o leve	Beneficio (€/año)	Reducción	Beneficio (€/año)	Reducción	Beneficio (€/año)	Reducción	Beneficio (€/año)	
2011	752	199	597.000	4,00	5.600.000	28,00	6.132.000	521,00	3.178.100	<b>15.507.100</b>
2012	841	218	654.000	2,00	2.800.000	43,00	9.417.000	578,00	3.525.800	<b>16.396.800</b>
2013	1.303	759	2.277.000	6,00	8.400.000	43,00	9.417.000	495,00	3.019.500	<b>23.113.500</b>
2014	1.204	810	2.430.000	4,00	5.600.000	36,00	7.884.000	354,00	2.159.400	<b>18.073.400</b>
2015	1.082	640	1.920.000	5,00	7.000.000	42,00	9.198.000	395,00	2.409.500	<b>20.527.500</b>
2016 a 2041	752	368	1.104.000	2,00	2.800.000	28,00	6.132.000	354,00	2.159.400	<b>12.195.400</b>

### 4.3.4 ASPECTOS MEDIO-AMBIENTALES

#### 4.3.4.1 Afección por ruido

Esta afección tiene lugar durante la fase de construcción, a consecuencia de las distintas actividades de la obra, así como, durante la fase de explotación, en la cual el paso del material móvil genera un aumento, en mayor o menor grado, de los niveles de ruido presentes en las áreas y viviendas próximas a las vías, cuya duración es la del paso del tranvía, pero que se manifiesta de forma repetitiva a lo largo del día.

Sin embargo, y pese a que el tranvía genere ruido, contribuye a reducir el impacto acústico en las ciudades por diferentes razones, porque genera un nivel más bajo de decibelios, porque genera más vegetación absorbidora de ruido y sobre todo porque reduce el tráfico de vehículos. Un tranvía a máxima velocidad comercial genera unos 60 decibelios, muy por debajo de los niveles de ruido diurnos en zonas de alta densidad urbana y de tráfico. La hierba sembrada en las vías tranviarias, junto al embebido de los carriles en material elastómero y los sistemas antivibratorios que incorporan los vehículos, contribuyen a reducir el ruido. En las fases de diseño del tranvía de Zaragoza y para reducir las emisiones acústicas, tanto interiores como exteriores, el equipo técnico de CAF analizó en detalle las causas que lo provocan y se adoptaron las medidas más eficaces para minimizarlas (empleo de materiales aislantes y absorbedores, formas aerodinámicas, estudios sobre el contacto e interacción rueda-carril, etc.).

El tráfico rodado suele ser la fuente de ruido, en las ciudades, que mayor aportación produce a la contaminación acústica global, tanto por su extensión como por el número de personas afectadas. Por lo tanto, la construcción de tranvías es una buena acción correctiva contra el ruido en las ciudades, junto con la peatonalización de zonas residenciales o la construcción de carriles bici. De esta forma se consigue la disuasión progresiva del uso del vehículo privado, lo cual tiene un efecto directo en la contaminación acústica global de una ciudad. Sin embargo, para alcanzar resultados evidentes, la reducción del tráfico debe ser drástica. A continuación se muestra una tabla con el potencial de reducción de ruido (dBA), mediante la reducción del volumen de tráfico.

**Tabla 37. Potencial de reducción de ruido (dBA) mediante la reducción del volumen de tráfico**

Reducción del volumen de tráfico	Reducción del ruido (dBA)
10%	0,5
20%	1,0
30%	1,6
40%	2,2
50%	3,0
75%	6,0

Se hace, por lo tanto, necesaria la estimación de la reducción de ruido que ha provocado la llegada del tranvía. Para ello se ha partido de los Mapas de Ruido del año 2007 (los más recientes), disponibles en la web del Ayuntamiento de Zaragoza y de los datos (ya analizados anteriormente) sobre el tráfico, para obtener la reducción en vehículos en el trazado del tranvía debido a su propia ejecución.



**Figura 12. Mapa de ruido de Zaragoza (2007)**

Una vez conocido este descenso en el tráfico y el nivel de ruido anterior a la ejecución del tranvía, se ha estimado la reducción del ruido siguiendo los criterios de la tabla anterior. Sin embargo, y teniendo en cuenta que además de descender el volumen de tráfico rodado, ahora circulan tranvías por las calles, se ha estimado que el potencial de reducción de ruido será algo inferior (un 30% inferior al de la tabla anterior). En la siguiente tabla se presentan: la reducción del tráfico, el nivel de ruido anterior a la ejecución del tranvía, la estimación de la reducción del ruido con y sin tranvía y el nivel de ruido actual estimado en avenidas por las que discurre el tranvía.

**Tabla 38. Reducción de tráfico y de ruido en la ciudad**

Avda / Calle	Reducción tráfico	Nivel de ruido eje (dBA)	Reducción del ruido (dBA)		Nivel de ruido eje (dBA)
		Antes del tranvía	Sin tranvía	Con tranvía	Después del tranvía
Majas de Goya	-47,03%	67,00	-2,76	-1,93	65,07
Luciano Gracia	-18,07%	67,00	-0,90	-0,63	66,37
Gómez Avellaneda y M. Zambrano	-36,97%	77,00	-2,02	-1,41	75,59
Gómez Avellaneda y M. Zambrano	-40,27%	77,00	-2,22	-1,55	75,45
Avda. Ranillas	-32,82%	72,00	-1,77	-1,24	70,76
Puente Santiago	-59,46%	77,00	-4,13	-2,89	74,11
Avda.Cesar Augusto	-100,00%	77,00	-9,00	-6,30	70,70
Coso	-93,85%	72,00	-8,26	-5,78	66,22
Paseo Independencia	-51,55%	77,00	-3,19	-2,23	74,77
Pza.Aragón	-39,06%	77,00	-2,14	-1,50	75,50
Gran Vía	-60,28%	77,00	-4,23	-2,96	74,04
Fernando Católico	-64,32%	77,00	-4,72	-3,30	73,70
Isabel La Católica	-45,18%	77,00	-2,61	-1,83	75,17
Vía Ibérica	-23,91%	77,00	-1,23	-0,86	76,14

Una vez que conocemos la reducción de ruido que se provoca tras la implantación del tranvía, debemos monetizar este impacto. Para realizar dicha valoración se ha seguido la guía para el análisis económico de la contaminación acústica del gobierno británico. Se trata de un documento que explica cómo incorporar los impactos del ruido en un análisis coste beneficio. En esta guía aparece una tabla que estima el valor monetario que supone un cambio de un decibelio en la exposición al ruido de las viviendas afectadas. Al tratarse de un documento británico, en que los datos aparecen en libras, ha sido necesario realizar una conversión a euros en el que una libra equivale a 1,19 € (conversión divisas en julio 2016). A continuación se presenta una tabla con los valores monetarios que supone una modificación en la exposición al ruido por vivienda (valor anual).

**Tabla 39. Valores monetarios de la modificación en la exposición al ruido por vivienda**

Variación ruido (dB)		Incluyendo trastorno del sueño	
		£	€
45	46	11,28	13,42
46	47	11,23	13,36
47	48	11,31	13,46
48	49	11,52	13,71
49	50	18,41	21,91
50	51	18,89	22,48
51	52	19,49	23,19
52	53	20,23	24,07
53	54	21,09	25,10
54	55	47,78	56,86
55	56	51,22	60,95
56	57	54,79	65,20
57	58	58,49	69,60
58	59	63,86	75,99
59	60	69,33	82,50
60	61	74,69	88,88
61	62	80,21	95,45
62	63	85,90	102,22
63	64	91,75	109,18
64	65	97,78	116,36
65	66	103,96	123,71
66	67	110,32	131,28
67	68	116,85	139,05
68	69	123,54	147,01
69	70	130,39	155,16
70	71	137,42	163,53
71	72	144,61	172,09
72	73	151,97	180,84
73	74	159,49	189,79
74	75	167,18	198,94
75	76	175,04	208,30
76	77	183,07	217,85
77	78	188,93	224,83
78	79	190,93	227,21
79	80	192,96	229,62
80	81	195,03	232,09

Para poder obtener el número de viviendas afectadas por el ruido en el eje del tranvía, se ha consultado la población afectada a 300 metros del trazado del tranvía. Estos datos se han obtenido del estudio de viabilidad de alternativas de una línea de tranvía en Zaragoza (año 2007). Sin embargo se ha estimado que la afección por ruido no alcanza los 300 metros, y se ha limitado a 100 metros. Además y para obtener el valor del número de viviendas afectadas, se ha consultado el Censo de Población y Viviendas para la provincia de Zaragoza en el que aparecen los datos sobre los hogares según su tamaño. Analizando los datos se ha obtenido una media de 2,45 personas por hogar. Los datos de ruido que se han presentado anteriormente corresponden a los que hay sobre el eje del tranvía. Sin

embargo, analizando los mapas de ruido de la ciudad, se observa que no todas las viviendas que se encuentran a unos 100 metros están afectadas por el mismo ruido. Por ese motivo, se han analizado los mapas de ruido en las avenidas principales por las que discurre el tranvía y se ha estimado que porcentaje de viviendas tienen una franja de ruido diferente al que se produce en el eje del tranvía. A continuación se presenta una tabla en la que aparece el número de viviendas y que porcentaje de estas se encuentran en unas franjas de ruido (reducción de 5 dBA en cada franja) inferiores a las del eje del tranvía.

**Tabla 40. Exposición de las viviendas al ruido**

Avda / Calle	Población a 300 m	Población a 100 m	Nº viviendas	Ruido eje (dBA)	Ruido franja viviendas (dBA)	% viviendas	Nº viviendas	Ruido franja viviendas (dBA)	%	Nº viviendas	Ruido franja viviendas (dBA)	%	Nº viviendas	Ruido franja viviendas (dBA)	%	Nº viviendas
Majas de Goya	4.768	530	216	67							62	40%	86	57	60%	130
Luciano Gracia	0	0	0	67							62	40%	0	57	60%	0
Gómez Avellaneda y M. Zambrano	12.722	1.414	577	77	72	15%	87	67	25%	144	62	30%	173	57	30%	173
Gómez Avellaneda y M. Zambrano	20.396	2.266	925	77	72	15%	139	67	25%	231	62	30%	277	57	30%	277
Avda. Ranillas	1.439	160	65	72				67	10%	7	62	30%	20	57	60%	39
Puente Santiago	2.274	253	103	77	72	5%	5	67	20%	21	62	30%	31	57	45%	46
Avda. Cesar Augusto	5.208	579	236	77	72	30%	71	67	30%	71	62	30%	71	57	10%	24
Coso	4.838	538	219	72				67	40%	88	62	30%	66	57	30%	66
Paseo Independencia	2.714	302	123	77	72	20%	25	67	40%	49	62	30%	37	57	10%	12
Pza. Aragón	2.377	264	108	77	72	20%	22	67	40%	43	62	30%	32	57	10%	11
Gran Vía	10.258	1.140	465	77	72	40%	186	67	30%	140	62	20%	93	57	10%	47
Fernando Católico	9.706	1.078	440	77	72	40%	176	67	30%	132	62	20%	88	57	10%	44
Isabel La Católica	6.426	714	291	77	72	40%	117	67	30%	87	62	20%	58	57	10%	29
Vía Ibérica	6.709	745	304	77	72	15%	46	67	25%	76	62	30%	91	57	30%	91

Llegados a este punto en el que ya conocemos el número de viviendas afectadas, el ruido que tenían antes y después de la ejecución del tranvía y el valor monetario que supone la reducción de ruido por decibelio, hay que calcular el valor económico de este impacto en la ciudad. A continuación se presenta una tabla mostrando los resultados.

**Tabla 41. Valoración monetaria de la reducción por ruido**

AÑO	Beneficio reducción ruido (€/año)
2014 a 2041	1.067.890,98

#### 4.3.4.2 Afeción sobre contaminación atmosférica

Se considera que la implantación de proyectos de transporte, afecta a la calidad del aire, aumentando o disminuyendo el nivel de emisiones contaminantes a la atmosfera y se debe integrar en el Análisis Coste-Beneficio. Estos efectos pueden ser positivos o negativos en función de cómo varían dichas emisiones en comparación con el escenario inicial.

Para establecer la afección que ha provocado en la contaminación atmosférica la implantación de la línea 1 del tranvía de Zaragoza, se ha analizado un estudio del año 2015 elaborado por el CIRCE (Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos, Universidad de Zaragoza) en colaboración con la Agencia de Medioambiente y Sostenibilidad del Ayuntamiento de Zaragoza. Dicho trabajo recoge el impacto del tranvía en la movilidad y sostenibilidad de la ciudad, analizando su efecto sobre el consumo de energía y la calidad del aire. Las conclusiones que se pueden obtener de este estudio, es que el funcionamiento del tranvía ha contribuido significativamente a la mejora de la sostenibilidad en la ciudad, convirtiéndola en un entorno más saludable. Desde el punto de vista medioambiental, se destaca como el tranvía ha contribuido a reducir las emisiones de los principales contaminantes ambientales de riesgo para la salud desde 2009 hasta la actualidad. A continuación se presenta una tabla con los valores de la reducción de los diferentes contaminantes ambientales.

**Tabla 42. Reducción de emisión de contaminantes atmosféricos**

Contaminante	Reducción Anual (ton)	Reducción Anual (%)
<b>No<sub>x</sub></b>	491,72	17,73
<b>CO<sub>2</sub></b>	293,21	8,83
<b>PM<sub>10</sub></b>	16,82	49,11

Respecto a la contaminación del aire y sus efectos sobre la salud y para la valoración monetaria de sus impactos, se propone la utilización de los costes extraídos de estudios realizados por diferentes autores. Algunos autores (*Maibach et al. 2008*) recomiendan emplear los valores monetarios estimados por HEATCO (*Bickel et al. 2006*) para algunos contaminantes, ya que proporciona cifras diferenciadas para distintos tipos de poblaciones, mientras que para los otros contaminantes sugiere utilizar los valores recogidos por CAFE (*Holland et al. 2005*) al considerarlos más conservadores. Por otro lado, para valorar el coste de las emisiones de CO<sub>2</sub> podrá consultarse los mercados de negociación de derechos de emisión, como por ejemplo SENDECO2 (Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono), en donde se establece el precio de la tonelada de CO<sub>2</sub>. Para el mes de julio de 2016 el precio de la tonelada de CO<sub>2</sub> ascendía a 4,64 €. Todos estos valores aparecen resumidos en la siguiente tabla.

**Tabla 43. Valor del coste de emisión de contaminantes**

Contaminante	Fuente	Entorno	Valor (€/ton)
<b>No<sub>x</sub></b>	CAFÉ		4.508
<b>CO<sub>2</sub></b>	SENDECO2		4,64
<b>PM<sub>10</sub></b>	HEATCO	>500.000 hab	207.900

Llegados a este punto, en el que ya se conoce la reducción en la emisión de contaminantes atmosféricos y el valor monetario de los costes por tonelada de emisión producida, somos capaces de obtener los beneficios económicos que provoca la implantación del tranvía en materia de contaminación atmosférica. Estos beneficios aparecen a partir del año 2014, una vez concluidas las dos fases de las obras del tranvía. En la siguiente tabla se presentan los resultados.

**Tabla 44. Valoración monetaria de la reducción en emisiones contaminantes**

Contaminante	Reducción Anual (ton)	Valor (€/ton)	Beneficio (€/año)
<b>No<sub>x</sub></b>	491,72	4.508	2.216.673,76
<b>CO<sub>2</sub></b>	293,21	4,64	1.360,49
<b>PM<sub>10</sub></b>	16,82	207.900	3.496.878,00
<b>AÑOS de 2014 a 2041 (Beneficio anual):</b>			<b>5.714.912,25</b>

## 4.3.5 OTROS ASPECTOS

### 4.3.5.1 Afección a las ventas de los comercios

La línea del tranvía proyectada en el ámbito urbano de Zaragoza, conllevó el condicionante de la afección por las obras a los comercios situados en el trazado del nuevo sistema de transporte. Estos establecimientos sufrieron, durante los 5 años de la duración de la obras, las molestias derivadas de un proyecto de tal envergadura. Soportaron ruidos, vibraciones, cortes en las calles, accesos cortados, suciedad, tráfico afectado, etc. Todo ello llevó a una reducción de la clientela lo que se tradujo en una disminución de las ventas.

Para analizar la afección que las obras del tranvía supusieron para los comerciantes, la Federación de Empresarios de Comercio y Servicios de Zaragoza y Provincia (ECOS) encargó un estudio a la Universidad de Zaragoza. En dicho trabajo se realizaron 601 encuestas presenciales en los establecimientos de las calles y áreas cercanas al trazado del tranvía. Los resultados mostraron que el impacto era de una reducción del 10,44 % en la facturación. Esto suponía unas pérdidas de facturación por 7,5 millones de euros al año.

Por lo tanto, y para los años de duración de las obras (de 2009 a 2013), se establece un coste de 7,5 M€ anuales en cuanto a la afección de las obras del tranvía a los comercios de la ciudad. En la siguiente tabla se presentan los resultados.

**Tabla 45. Valoración monetaria de pérdidas en los comercios**

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013
Pérdidas ventas comercios (M€)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5

## 4.4 CÁLCULO DEL INDICADOR DE RENTABILIDAD

Llegados a este punto del análisis, ya se conocen los parámetros básicos y se poseen todos los impactos cuantificados y expresados en una misma unidad de medida.

Para calcular los indicadores que permiten evaluar la rentabilidad del proyecto del tranvía se va a seguir la metodología comentada anteriormente.

En este apartado se van a presentar los resultados de los diferentes indicadores de rentabilidad para los dos procedimientos empleados para obtener el ingreso anual que se produce por el pago de las tarifas del uso del tranvía:

- Método#1. Datos oficiales: 0,59 €/viaje
- Método#2. Propuesta de asignación propia: 0,78 €/viaje

El Valor Actualizado Neto (VAN) no es más que la suma de todos los flujos positivos y negativos, actualizados mediante la tasa de descuento.

Con todos los datos anteriores, el VAN resultante es:

	MÉTODO #1	MÉTODO #2
VAN (€)	<b>340.445.583</b>	<b>471.177.627</b>

Con el valor del VAN obtenido se debe de llevar a cabo la interpretación, un VAN positivo indica que la inversión produce ganancias por encima de la rentabilidad exigida ( $r$ ). Por lo tanto, en este caso, el proyecto crea valor.

Para completar la interpretación sobre la viabilidad del proyecto, se acompaña el empleo del VAN (indicador dimensional) con el uso de otros

indicadores que son adimensionales. Estos indicadores adimensionales pueden ser la Tasa Interna de Retorno o el Ratio Coste/Beneficio.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de descuento con la que el Valor Actualizado Neto es igual a cero.

Con todos los datos anteriores, la Tasa Interna de Retorno (TIR) resultante es:

	MÉTODO #1	MÉTODO #2
TIR (%)	<b>8,27%</b>	<b>9,86%</b>

El análisis de este indicador establece que a mayor TIR mayor rentabilidad. En este caso si comparamos el valor de la TIR obtenida con la tasa de interés (tasa de descuento del 4%) se observa que la tasa de rendimiento del proyecto, expresada por la TIR, supera la tasa de interés. Esto quiere decir, al obtener una TIR alta, que por la inversión en este proyecto se ha obtenido un interés alto, que si lo miramos en relación a un producto financiero, hoy en día resulta muy difícil de conseguir teniendo en cuenta como se encuentra actualmente nuestro mercado financiero.

La Relación Coste/Beneficio es el cociente de dividir el valor actualizado de los costes entre el valor actualizado de los beneficios del proyecto.

Con todos los datos anteriores, la Relación Coste/Beneficio resultante es:

	MÉTODO #1	MÉTODO #2
RELACIÓN COSTE/BENEFICIO	<b>0,726</b>	<b>0,657</b>

Como criterio de interpretación se emplea que un proyecto es aceptable si el valor de la Relación Coste/Beneficio es inferior a 1, ya que de esta forma se indica que los beneficios superan los costes.

Con el análisis y la interpretación de estos tres indicadores queda por lo tanto justificada la viabilidad del proyecto del tranvía para la ciudad de Zaragoza.

## 4.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Las etapas llevadas a cabo anteriormente nos han servido para obtener la idoneidad de la realización del proyecto del tranvía de Zaragoza. Sin embargo, para calcular el VAN y los otros indicadores, se han utilizado los valores disponibles en el momento de análisis y se han supuesto muchos otros que pueden variar y provocar que el resultado obtenido sea diferente. Como ya se ha comentado anteriormente, al tratarse de un ACB ex-post se toman datos que se conocen realmente, datos de los años anteriores, pero también se estiman datos sobre acontecimientos que van a producirse en el futuro, lo que implica que también tengamos cierta incertidumbre en este proceso. Es por ello, que una etapa fundamental a introducir en el Análisis Coste-Beneficio debe ser la del análisis de sensibilidad, que busca analizar como la variabilidad de todos esos parámetros puede afectar al resultado final obtenido.

El análisis de sensibilidad permite determinar las variables o parámetros críticos de un modelo. Esas variables serán aquellas cuya variación, positiva o negativa, tiene un alto impacto sobre el resultado final de la evaluación del proyecto.

El análisis de sensibilidad se realiza tal y como se ha explicado anteriormente en la metodología, pero se resume en ir variando una a una las variables o parámetros y determinando el efecto del cambio sobre el indicador final de rentabilidad (VAN).

En el análisis de sensibilidad que se ha realizado se han modificado las diferentes variables una a una, es decir de la forma más desagregada posible. Todo ello implica evitar problemas con variables dependientes, redundantes y así conseguir eliminar las relaciones internas entre ellas.

El criterio que se adopta para la determinación de las variables críticas puede variar, pero como norma general, la recomendación es considerar como variables críticas aquellas cuya variación de un 1% con respecto a su valor más probable, se traduce en un cambio de al menos un 1% en el indicador de rentabilidad.

A continuación se adjunta la tabla que muestra el análisis de sensibilidad con los diferentes parámetros estudiados.

Es importante destacar que este análisis de sensibilidad, se realizó antes de conseguir los datos necesarios para poder plantear la obtención del ingreso anual

que se produce por el pago de las tarifas del uso del tranvía por el Método#1 (datos oficiales). Es por ese motivo que se ha llevado a cabo únicamente el análisis de sensibilidad para los datos del Método#2 (propuesta de asignación propia).

**Tabla 46. Análisis de sensibilidad con los datos del Método#2**

	Impacto	Categoría	Variable	Valor inicial	VAN inicial	Valor variado	VAN variado	Variación	Variable Crítica
<b>Parámetros básicos</b>	Tasa de descuento	Precios	Tasa de Descuento	0,04	471.177.627	0,0404	468.052.316	-0,66%	NO
<b>COSTES</b>	Inversión	Costes de inversión	Inversión (M€)	401,00	471.177.627	405,01	466.776.398	-0,93%	NO
	Funcionamiento sistema	Costes de operación	Gasto anual (€/km)	572.000	471.177.627	577.720	469.660.843	-0,32%	NO
	Tráfico vehículos (↑ tiempo)	Demanda	IMD centro ciudad (veh/día)	43.500	471.177.627	43.935	468.493.949	-0,57%	NO
			Aumento tiempo viaje (min)	7	471.177.627	7,07	468.493.949	-0,57%	NO
		Precios contables	Valor del tiempo en coche - Trabajo (€/h)	11	471.177.627	11,11	469.375.157	-0,38%	NO
			Valor del tiempo en coche- Ocio (€/h)	4,4	471.177.627	4,44	470.296.420	-0,19%	NO
Pérdida ventas comercios	Precio de los productos	Pérdidas ventas comercios (M€)	7,5	471.177.627	7,575	470.771.374	-0,09%	NO	
<b>BENEFICIOS</b>	Ingresos por uso del tranvía	Demanda	Demanda de viajeros anual	-	471.177.627	+1%	476.600.817	1,15%	SI
		Precio de los productos	Tarifa por uso (€/viajero)	0,7803	471.177.627	0,7881	476.600.817	1,15%	SI
	Ahorro tiempo desplaz.	Demanda	Ahorro tiempo desplazamiento (horas/año)	1.557.840,51	471.177.627	1.573.418,91	472.936.140	0,37%	NO
		Precios contables	Valor del tiempo en tte público - Trabajo (€/h)	9	471.177.627	9,090	472.186.610	0,21%	NO
			Valor del tiempo en tte público- Ocio (€/h)	3,6	471.177.627	3,636	471.927.157	0,16%	NO
	Explotación bus urbano	Demanda	Reducción km recorridos (km/año)	3.100.000	471.177.627	3.131.000	473.440.295	0,48%	NO
		Costes de operación	Coste operación y mant. Bus urbano (€/km)	3,71	471.177.627	3,75	473.440.295	0,48%	NO
	Accidentalidad	Precios contables	Costes agregado fallecido (€)	1.400.000	471.177.627	1.414.000	471.951.945	0,16%	NO
			Costes agregado herido grave (€)	219.000	471.177.627	221.190	472.639.946	0,31%	NO
			Costes agregado herido leve (€)	6.100	471.177.627	6.161	471.689.207	0,11%	NO
			Costes agregado accidente (€)	3.000	471.177.627	3.030	471.442.345	0,06%	NO
		Demanda	Reducción accidentes	752	471.177.627	760	471.715.632	0,11%	NO
			Reducción fallecidos	2,00	471.177.627	2,02	471.950.285	0,16%	NO
			Reducción herido grave	28,00	471.177.627	28,28	472.619.914	0,31%	NO
			Reducción herido leve	354,00	471.177.627	357,54	471.437.610	0,06%	NO
	Ruido	Parámetros C-B	Beneficio reducción ruido (€/año)	1.067.890,98	471.177.627	1.078.569,89	471.376.384	0,04%	NO
Contaminación atmosférica	Demanda	Reducción Anual NO <sub>x</sub> (ton)	491,72	471.177.627	496,64	471.590.197	0,09%	NO	
		Reducción Anual CO <sub>2</sub> (ton)	293,21	471.177.627	296,14	471.177.881	0,00%	NO	
		Reducción Anual PM <sub>10</sub> (ton)	16,82	471.177.627	16,99	471.828.469	0,14%	NO	
	Precios contables	Valor NO <sub>x</sub> (€/ton)	4.508	471.177.627	4.553	471.590.197	0,09%	NO	
		Valor CO <sub>2</sub> (€/ton)	4,64	471.177.627	4,69	471.177.881	0,00%	NO	
		Valor PM <sub>10</sub> (€/ton)	207.900	471.177.627	209.979	471.828.469	0,14%	NO	

Si se observan los resultados del análisis de sensibilidad, se puede ver que los únicos parámetros críticos son la demanda de viajeros para el tranvía y la tarifa que se abona por el uso del mismo. Es evidente que estas dos variables sean críticas, ya que suponen el único ingreso económico para el consorcio del tranvía. Además tienen vital importancia, ya que son el indicador que marca el funcionamiento del servicio.

Por otra parte, si no nos atenemos únicamente al criterio de que una variable es crítica cuando una variación de un 1% con respecto a su valor más probable, se traduce en un cambio de al menos un 1% en el indicador de rentabilidad, podemos observar que la inversión tiene una alta influencia en el VAN, ya que supone el desembolso de una gran cantidad de dinero en los años iniciales. Además, la tasa de descuento a aplicar en los años futuros también afecta de forma considerable al VAN, ya que influye directamente en el cálculo del indicador de rentabilidad durante un largo período de años.

## 4.6 ANÁLISIS DE RIESGO

El análisis de riesgo consiste en el estudio de la probabilidad que tiene un proyecto de llevarse a cabo de una forma satisfactoria (en cuanto a su rentabilidad).

La incertidumbre en las previsiones de datos que se han ido realizado en las fases anteriores del análisis, son las causantes de que, en función de los acontecimientos que tengamos en el futuro, se puedan obtener resultados diferentes a los ya obtenidos en el indicador de rentabilidad. Por ese motivo y para obtener un estudio de la probabilidad del VAN que vamos a obtener se debe de realizar un análisis de riesgo.

Una vez hecho el análisis de sensibilidad, y para llevar a cabo este análisis de riesgo, se ha decidido fijar una distribución probabilística para todos los factores (no solo para los críticos) que afectan al cálculo del indicador de rentabilidad.

La realización de este análisis de riesgo se ha efectuado con el programa informático R<sup>1</sup>. Se trata de un paquete computacional para el análisis estadístico, manipulación de datos, cálculo y la creación de gráficos.

Para realizar el análisis de riesgo es necesario asignar una distribución de probabilidad a cada uno de los factores, definiendo el rango de valores en el que se moverá alrededor de la mejor estimación, con el fin de calcular los valores esperados.

Se considera que todos los valores y datos que se han supuesto (para los años futuros y para factores no conocidos fehacientemente) en las etapas anteriores son la mejor estimación posible.

El rango de variación que se ha decidido fijar es de  $\pm 10\%$  sobre esta estimación. Sin embargo para la tasa de descuento se ha fijado un rango de variación que varía entre el 3,5% y el 4,5% (mejor estimación posible: 4%).

En cuanto a la distribución de probabilidad se ha utilizado la función *sample* (*replace=TRUE*) con reposición del programa R que responde a un muestreo aleatorio simple con repetición.

En este tipo de muestreo aleatorio simple, el elemento seleccionado en cada extracción vuelve a ser incluido en la población antes de extraer el siguiente elemento. De esta forma, un elemento de la población puede aparecer más de una vez en la muestra.

En este tipo de muestreo, la probabilidad de que un elemento sea elegido en la primera extracción es  $1/n$ , donde  $n$  es el número de elementos posibles. Puesto que se repone el elemento extraído, en la siguiente extracción la probabilidad de que un elemento sea seleccionado sigue siendo  $1/n$ , puesto que de nuevo contamos con  $n$  elementos posibles. En la  $n$ -ésima extracción, la probabilidad continúa en  $1/n$ . Es decir, la probabilidad, en este caso, es independiente de las extracciones anteriores.

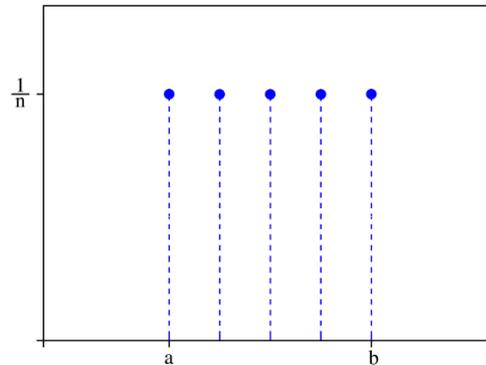
Se trata, por lo tanto, de una distribución uniforme discreta (variable aleatoria discreta uniforme). Es la variable aleatoria discreta más sencilla ya que asume un número finito ( $n$ ) de valores con la misma probabilidad.

---

<sup>1</sup> En el "Anexo 1: Código para el análisis de riesgo" al final del documento, se presenta el código que ha sido necesario programar en el paquete informático R para poder llevar a cabo el análisis de riesgo con el método de Montecarlo.

Su función de probabilidad es:

$$P_X(x) = \frac{1}{n} \quad \text{para } a \leq x \leq b$$



**Figura 13. Representación de la función de probabilidad de una variable aleatoria discreta uniforme**

Su función de distribución asigna a cada valor  $x$  la probabilidad de que la variable aleatoria tome valores iguales o menores que  $x$ :

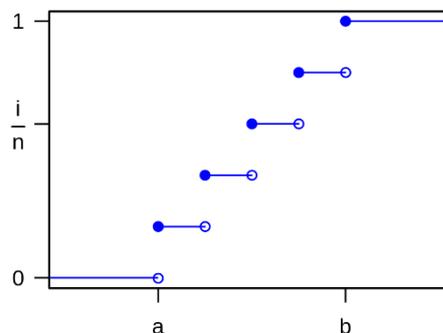
$$F_X(x) = P(X \leq x)$$

Siendo:

$$F_X(x) = 0 \quad \text{para } x < a$$

$$F_X(x) = \frac{x-a+1}{n} \quad \text{para } a \leq x \leq b$$

$$F_X(x) = 1 \quad \text{para } x > b$$



**Figura 14. Representación de la función de distribución de una variable aleatoria discreta uniforme**

Su media estadística es:

$$E[X] = \mu = \frac{n+1}{2}$$

Su desviación estándar es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{n^2 + 1}{2}}$$

Y su varianza es:

$$\text{Var}[X] = \sigma^2$$

Toda vez que se tiene la distribución probabilística de las variables del modelo, se puede llevar a cabo la simulación de Montecarlo. Es una técnica que se basa en simular una cantidad de veces determinada, la obtención del indicador de rentabilidad, a través de la generación de forma totalmente aleatoria de los valores que afectan al modelo dentro de los rangos anteriormente indicados.

Así, permite tener en cuenta para el análisis, un elevado número de escenarios aleatorios, por lo que, se puede decir que hace posible llevar la técnica del análisis de escenarios al infinito ampliando la perspectiva de los escenarios posibles. De esta forma, se pueden realizar análisis que se ajusten en mayor medida a la variabilidad real de las variables consideradas. Básicamente el método consiste en explicar la realidad a estudiar mediante la sustitución del universo real, por un universo teórico utilizando números aleatorios.

En nuestro caso se ha decidido llevar a cabo una simulación de 1000 casos aleatorios. De esta forma se obtiene una muestra representativa de la variabilidad que puede presentar nuestro indicador de rentabilidad al producirse ligeras variaciones en la mejor estimación de las variables del modelo.

Para finalizar, se lleva a cabo el análisis estadístico y de inferencia sobre el comportamiento de la realidad, siendo interesante calcular la media, la varianza y la desviación típica. Por ejemplo, en la valoración de proyectos de inversión, es habitual llevar a cabo el análisis de la viabilidad de un proyecto de inversión, analizando la probabilidad de que el indicador de rentabilidad (VAN) sea positivo.

Es importante destacar, que este análisis de riesgo se realizó antes de conseguir los datos necesarios para poder plantear la obtención del ingreso anual que se produce por el pago de las tarifas del uso del tranvía por el Método#1 (datos

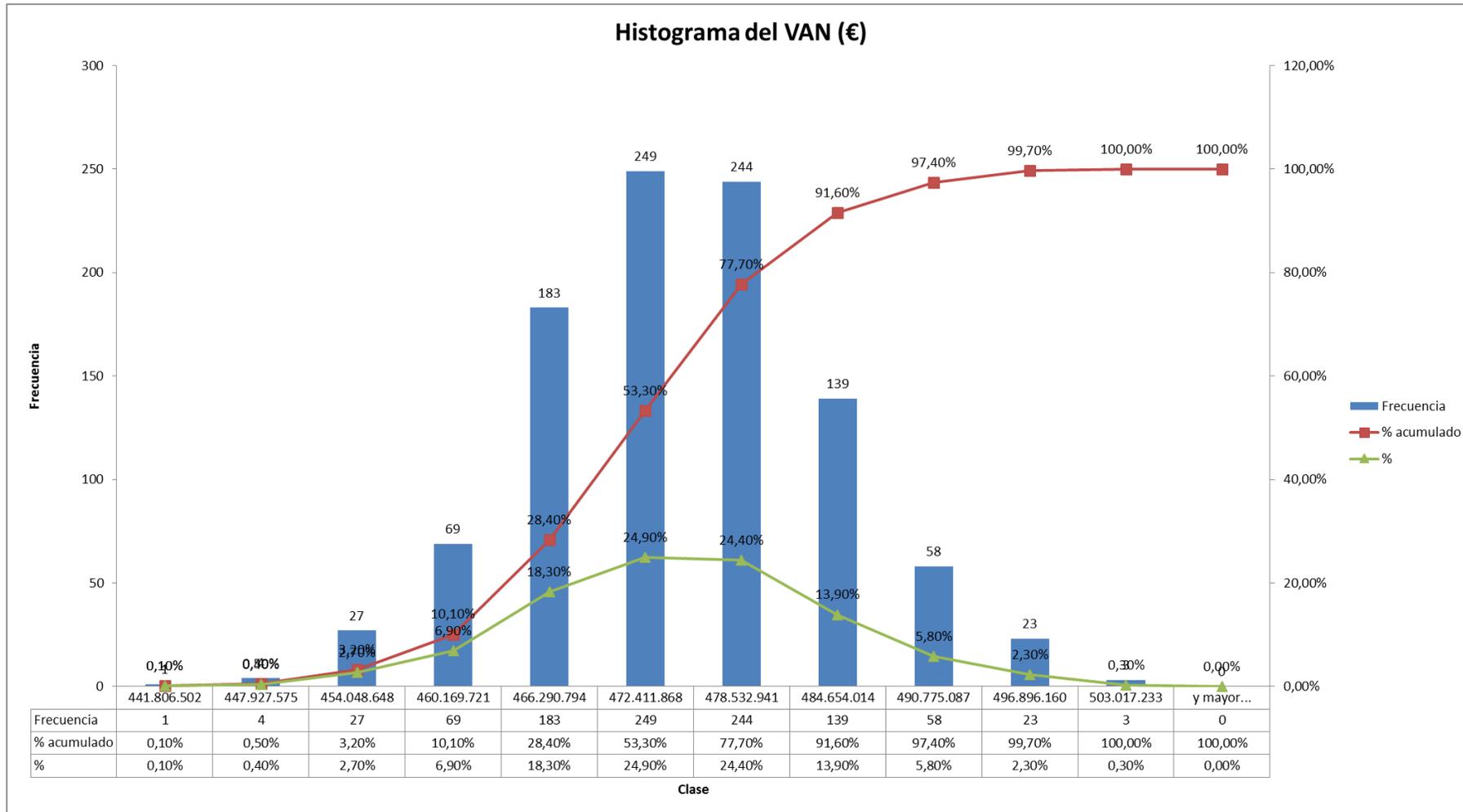
oficiales). Es por ese motivo que se ha llevado a cabo únicamente el análisis de riesgo con los datos obtenidos con el Método#2 (propuesta de asignación propia).

A continuación se presentan los resultados obtenidos en esta simulación de Montecarlo.

**Tabla 47. Resultados estadísticos de la simulación de Montecarlo (indicador: VAN)**

Simulación Montecarlo #1000 casos	
Media	471.691.953
Mediana	471.600.792
Desviación estándar	9.236.975
Varianza de la muestra	85.321.708.822.842
Rango	61.210.731
Mínimo	441.806.502
Máximo	503.017.233
Suma	471.691.953.274
Cuenta	1.000

Además para representar gráficamente los resultados obtenidos en la simulación se ha repartido la muestra de 1000 casos en diferentes intervalos, de esta forma se pueden generar diferentes histogramas.



**Figura 15. Histograma de frecuencias, % simple y % acumulativo del VAN en la simulación de Montecarlo**

Con la interpretación de los resultados se puede observar que en las 1000 simulaciones realizadas el valor del VAN es positivo, siendo el valor del VAN medio de 471.651.953 euros, por lo que a todas luces parece que ha sido muy interesante llevar a cabo el proyecto de inversión. Además se observa que las variaciones hacia el valor máximo y mínimo son aproximadamente del 6% con respecto a la media obtenida (valor más probable).

## 5 CONCLUSIONES

Al inicio del documento se planteaban cuáles eran los diferentes objetivos de este trabajo y llegados a este punto, tras la elaboración de este estudio, estamos en situación de presentar las conclusiones obtenidas.

Al principal objetivo de responder a la pregunta de si la implantación del tranvía de Zaragoza es viable en términos socio-económicos se puede decir que sí. En primer lugar, el estudio de los dos escenarios planteados, revela un resultado positivo del indicador de rentabilidad. Con el valor del VAN obtenido se debe de llevar a cabo la interpretación, y en este caso el VAN positivo indica que la inversión produce ganancias por encima de la rentabilidad exigida ( $r$ ). Por lo tanto el proyecto del tranvía de Zaragoza crea valor.

Por otro lado, el análisis de sensibilidad indica que solamente los parámetros críticos son la demanda de viajeros para el tranvía y la tarifa que se abona por el uso del mismo. Es evidente que estas dos variables sean críticas, ya que suponen el único ingreso económico para el consorcio del tranvía. Además tienen vital importancia, ya que son el mejor indicador del funcionamiento del servicio. Otras variables que tienen bastante afección sobre el indicador de rentabilidad, sin llegar a ser críticas, son la inversión inicial y la tasa de descuento a aplicar en los años futuros.

Otro de los objetivos era realizar un análisis probabilístico, de esta forma, se permitía tener en cuenta para el análisis un elevado número de escenarios aleatorios. De esta forma, se ha podido realizar un análisis que se ajuste en mayor medida a la variabilidad real de las variables consideradas. En nuestro caso se ha decidido llevar a cabo una simulación de 1000 casos aleatorios. Con la interpretación de los resultados se puede observar que en las 1000 simulaciones realizadas el valor del VAN es positivo, siendo el valor del VAN medio de 471.651.953 euros, por lo que a todas luces parece que ha sido muy interesante llevar a cabo el proyecto de inversión.

Además, durante la realización del trabajo, se han cumplido los objetivos de estudiar la metodología del Análisis Coste-Beneficio y del proyecto de implantación del tranvía de Zaragoza.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

### **Bibliografía sobre el ACB:**

- European Comission (2014), *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects – Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*. (Directorate General for Regional and Urban policy).
- European Comission (2008), *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects*. (Directorate General Regional Policy).
- Comisión Europea (2002), *Guía del análisis costes-beneficios de los proyectos de inversión*. (Unidad responsable de la evaluación DG Política Regional Comisión Europea).
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX (2010), *Manual: Evaluación socioeconómica y financiera de proyectos de transporte*. (Ministerio de fomento, Gobierno de España).
- TORRES ORTEGA, S. (2014), *Nuevos problemas en la evaluación de proyectos de ingeniería. Evaluación de la vulnerabilidad y de la percepción del riesgo en el análisis coste-beneficio medioambiental*. DÍAZ SIMAL, P., Director. Tesis doctoral. (Universidad de Cantabria).
- LÓPEZ CASASNOVAS, G., MARÍA VEGARA, J. (2012), *El análisis coste-beneficio y la toma de decisiones*. (Secretaría de Estado de Presupuestos y Gastos, Instituto de Estudios Fiscales).
- Ministerio de Fomento (2014), *NOTA DE SERVICIO 3/2014: Prescripciones y recomendaciones técnicas relativas a los contenidos mínimos a incluir en los Estudios de Rentabilidad de los Estudios Informativos de la Subdirección General de Estudios y Proyectos*. (Secretaría de Estado de Infraestructuras, transporte y vivienda. Secretaría General de Infraestructuras. Dirección General de Carreteras. Subdirección General de Estudios y Proyectos).
- ANDRÉS MARTÍN, A., DIESTE MARTÍNEZ, E., FUSTER DÍAZ-PANADERO, I., MATEOS MARTÍN, J., TRAPOTE VARONA, B. (2014), *Las CPP en el sector*

*ferroviario*. GAVILANES GINERÉS, G., tutor. Proyecto Fin de Máster, Máster en Gestión de Infraestructuras, Equipamientos y Servicios. Universidad Politécnica de Madrid. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

### **Bibliografía sobre el tranvía de Zaragoza:**

- U.T.E. Iberurban (2006), *Estudio de Viabilidad de Alternativas de una Línea de Tranvía – Metro Ligero, Norte – Sur, en Zaragoza*. (Gobierno de Aragón y Ayuntamiento de Zaragoza).
- Deloitte (2012), *Primer borrador técnico de la Red de Autobús Urbano 2013: "Definición modelo jurídico financiero del transporte urbano por autobús en la ciudad de Zaragoza"*. (Ayuntamiento de Zaragoza).
- Tribunal de Cuentas (2012), *Informe de fiscalización del Ayuntamiento de Zaragoza. Ejercicio 2011. Tomo I*. (Cámara de Cuentas de Aragón).
- Prensa Diaria Aragonesa, S.A. (2014), *Guía de la nueva movilidad urbana en Zaragoza*. (El Periódico de Aragón y Los Tranvías de Zaragoza).
- MORENO, A. (2016), *Una Línea que mejora la ciudad*. (Los Tranvías de Zaragoza).
- AZAFT. (2012). *Tranvías de Zaragoza*. [Sitio web] Disponible en: <http://www.azaft.org/tranvias-de-zaragoza/>
- Tranviasdezaragoza.es (2016). *Tranvía de Zaragoza - Nuestro Tranvía*. [Sitio web]. Disponible en: <http://www.tranviasdezaragoza.es/es/informacion/nuestro-tranvia>
- Tranviasdezaragoza.es (2016). *Tranvía de Zaragoza - Nuestra línea*. [Sitio web] Disponible en: <http://www.tranviasdezaragoza.es/es/informacion/nuestra-linea>
- Tranviasdezaragoza.es (2016). *Tranvía de Zaragoza - Cronología del Tranvía de Zaragoza*. [Sitio web] Disponible en: <http://www.tranviasdezaragoza.es/es/informacion/cronologia-del-tranvia-de-zaragoza>
- Tranviasdezaragoza.es (2016). *Tranvía de Zaragoza - Cronología del transporte público de Zaragoza*. [Sitio web] Disponible en: <http://www.tranviasdezaragoza.es/es/informacion/cronologia-del-transporte-publico-de-zaragoza>

### **Bibliografía sobre el tráfico en la ciudad:**

- Servicio de Movilidad Urbana del Ayuntamiento de Zaragoza, datos sobre el tráfico: IMD.
- Tomtom.com. (2016). *TomTom Traffic Index, Ciudad de Zaragoza*. [Sitio web] Disponible en: [https://www.tomtom.com/es\\_es/trafficindex/city/ZAR](https://www.tomtom.com/es_es/trafficindex/city/ZAR)
- Larroy, C. (2014). *El tráfico privado en el eje del tranvía cae hasta un 70% en algunos tramos*. [Sitio web] heraldo.es. Disponible en: [http://www.heraldo.es/noticias/aragon/zaragoza\\_provincia/zaragoza/2014/07/16/el-trafico-privado-eje-del-tranvia-cae-hasta-algunos-tramos-299716-301.html](http://www.heraldo.es/noticias/aragon/zaragoza_provincia/zaragoza/2014/07/16/el-trafico-privado-eje-del-tranvia-cae-hasta-algunos-tramos-299716-301.html)
- Zaragoza, C. (2015). *La implantación del tranvía reduce a la mitad el tráfico en el centro en apenas cuatro años | Noticias de Suplementos en Heraldo.es*. [Sitio web] heraldo.es. Disponible en: <http://www.heraldo.es/noticias/suplementos/2015/07/19/la-implantacion-del-tranvia-reduce-mitad-trafico-centro-apenas-cuatro-anos-454262-314.html>
- Zaragoza, J. (2016). *El Ayuntamiento paga 140.000 euros al tranvía por tener un 11% menos de los viajeros previstos*. [Sitio web] heraldo.es. Disponible en: <http://www.heraldo.es/noticias/heraldo-premium/aragon/zaragoza/2016/03/31/el-ayuntamiento-paga-140-000-euros-tranvia-por-tener-menos-los-viajeros-previstos-840048-2091035.html>

### **Bibliografía sobre la accidentalidad:**

- MONCLÚS, J., ARAGÓN, A., APARICIO, F., GÓMEZ, A. (2008), *El valor de la seguridad vial. Conocer los costes de los accidentes de tráfico para invertir más en su prevención*. (Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil –FITSA).
- Dirección General de Tráfico (2014), *Las principales cifras de la siniestralidad vial España 2013*. (Ministerio del Interior).
- ABELLÁN PERPIÑÁN, J.M., MARTÍNEZ PÉREZ, J.E., MÉNDEZ MARTÍNEZ, I., PINTO PRADES, J.L., SÁNCHEZ MARTÍNEZ, F.I. (2012), *El valor monetario de una vida estadística en España. Estimación en el contexto de los accidentes de tráfico*. (Universidad de Murcia y Universidad Pablo de Olavide, Sevilla. Estudio financiado por la Dirección General de Tráfico).

- Zaragoza, M. (2016). *Los accidentes de tráfico repuntan un 7% en Zaragoza, pero disminuyen las víctimas*. [Sitio web] heraldo.es. Disponible en: <http://www.heraldo.es/noticias/aragon/zaragoza-provincia/zaragoza/2016/06/03/los-accidentes-traffic-repuntan-zaragoza-pero-disminuyen-las-victimas-893031-301.html>
- Zaragoza, E. (2013). *Zaragoza registró el año pasado más de 3.300 accidentes de tráfico, con 8 fallecidos*. [Sitio web] heraldo.es. Disponible en: <http://www.heraldo.es/noticias/aragon/zaragoza-provincia/zaragoza/2013/06/07/zaragoza-registro-2012-mas-300-accidentes-traffic-con-fallecidos-237409-301.html>
- Zaragoza, E. (2015). *Cuatro muertos y 129 heridos graves, balance de los 2.913 accidentes en Zaragoza en 2014*. [Sitio web] heraldo.es. Disponible en: <http://www.heraldo.es/noticias/aragon/zaragoza-provincia/zaragoza/2015/01/02/cuatro-muertos-129-heridos-graves-balance-los-913-accidentes-zaragoza-2014-330882-301.html>
- Aragón, E. (2016). *Los muertos en accidentes de tráfico bajan un 75% en 2013*. [Sitio web] El Periódico de Aragón. Disponible en: <http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/aragon/muertos-accidentes-traffic-bajan-75-2013-910301.html>

#### **Bibliografía sobre los aspectos medioambientales:**

- ORTEGO BIELSA, A., ZABALZA BRIBIÁN, I., BARRIO MORENO, F., (2015), *Zaragoza 2020 por la movilidad urbana sostenible*. (Área de Eficiencia Energética - CIRCE y Unidad de medioambiente del Ayuntamiento de Zaragoza).
- Fcirce.es. (2016). *Un estudio analiza los beneficios del tranvía en la ciudad de Zaragoza*. [Sitio web] Disponible en: <http://www.fcirce.es/web/data/new.aspx?source=comPressReleases&id=2372>
- CELMA CELMA, J., Labein y Apia XXI (2007), *Elaboración del mapa de ruido del término municipal de Zaragoza. Mapa de niveles sonoros*. (Ayuntamiento de Zaragoza).
- Caf.net. (2014). *CAF hace del transporte público un medio de transporte sostenible*. [Sitio web] Disponible en: <http://www.caf.net/es/ecocaf/ecotecnologias.php>

- Noisess. (2014). *Ferrocarriles urbanos para reducir la contaminación acústica*. [Sitio web] Disponible en: <http://www.noisess.com/reduccion-de-la-contaminacion-acustica/>
- Lancara, J. (2004). *Nuevos tranvías en marcha en la Península Ibérica*. Boletín CF+S, [Sitio web] (28). Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n28/ajlord.html#5>
- Gov.uk. (2013). *Noise pollution: economic analysis - Detailed guidance - GOV.UK*. [Sitio web] Disponible en: <https://www.gov.uk/guidance/noise-pollution-economic-analysis>
- Sendeco2.com. (2016). *Precios CO2 - Sendeco2*. [Sitio web] Disponible en: <http://www.sendeco2.com/es/precios-co2>

#### **Bibliografía sobre el comercio en Zaragoza:**

- Heraldo.es. (2011). *Las comerciantes denuncian pérdidas de 23 millones y 26 cierres por el tranvía*. [Sitio web] heraldo.es. Disponible en: [http://www.heraldo.es/noticias/zaragoza/las\\_comerciantes\\_denuncian\\_perdidas\\_millones\\_cierres\\_por\\_tranvia.html](http://www.heraldo.es/noticias/zaragoza/las_comerciantes_denuncian_perdidas_millones_cierres_por_tranvia.html)
- Aragón, E. (2012). *Un estudio revela pérdidas de facturación a los comercios por 7,5 millones*. [Sitio web] El Periódico de Aragón. Disponible en: [http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/economia/estudio-revela-perdidas-facturacion-comercios-7-5-millones\\_610580.html](http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/economia/estudio-revela-perdidas-facturacion-comercios-7-5-millones_610580.html)
- Zaragoza, E. (2010). *Los comercios afectados por las obras del tranvía dicen que han perdido 7,5 millones de euros*. [Sitio web] heraldo.es. Disponible en: [http://www.heraldo.es/noticias/zaragoza/los\\_comercios\\_afectados\\_por\\_las\\_obras\\_del\\_tranvia\\_dicen\\_que\\_han\\_perdido\\_millones\\_euros.html](http://www.heraldo.es/noticias/zaragoza/los_comercios_afectados_por_las_obras_del_tranvia_dicen_que_han_perdido_millones_euros.html)



## ANEXO 1: CÓDIGO PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO

En el presente anexo se presenta el código que ha sido necesario programar en el *paquete informático R* para poder llevar a cabo el análisis de riesgo con el método de Montecarlo.

```
#####
# TUTORIAL ACB EN R #
#####

# TFM

# "Análisis socio-económico ex-post de la implantación del tranvía en Zaragoza
mediante la metodología del Análisis Coste-Beneficio"

# Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

# DANIEL VERA OVEJAS

# ETSICCP de Santander, 2016

#####

# APDO 1. Calcular un ACB (único caso fijo)

# Introducción de una tabla de Excel con todos los datos: años, tasa a
aplicar, costes e ingresos...

# para introducir la tabla hay que seleccionar y copiar las celdas que están
en amarillo en el archivo "CLIPBOARD PARA R.xls" y después ejecutar le línea
de código 11

# CUIDADO: en Excel hay que cambiar los separadores decimales al punto "." y
de miles a la coma ","

data1<-read.table("clipboard")

# vamos creando lo que son vectores con años, tasa, c1..., i1 (lo identifico
por el nº de columna de la tabla)

vector_años<-data1[,1]

tasa<-data1[,2]

c1<-data1[,3]

c2<-data1[,4]

c3<-data1[,5]

c4<-data1[,6]
```

```

i1<-data1[,7]
i2<-data1[,8]
i3<-data1[,9]
i4<-data1[,10]
i5<-data1[,11]
i6<-data1[,12]

# Calculamos el vector de beneficios. Inicialmente será un vector de ceros.
Benefit = rep(0,33)
# Ahora calculamos el valor de cada año con un ciclo.
# Pondremos tantos años en el ciclo como sea nuestro horizonte temporal, y
añadiremos todos nuestros ingresos y costes. Desde 2009 hasta 2041 hay 33 años
for (i in 1:33)
  Benefit[i] = (i1[i]+i2[i]+i3[i]+i4[i]+i5[i]+i6[i])-(c1[i]+c2[i]+c3[i]+c4[i])
Benefit

# A continuación tenemos que calcular los valores actualizados.
# Creamos un vector de valor actualizado.
VA = rep(0,33)
# Y calculamos el valor descontado de cada año. Año de referencia el 2016.
for (i in 1:33)
  VA[i] = Benefit[i]/((1+tasa[i])^(vector_años[i]-2016))
VA

# El Valor Actualizado Neto será la suma del vector de valores actualizados.
VAN = sum (VA)
VAN

# Para tener todos los datos unidos, creamos un DataFrame (estructura tabular)
ACB = data.frame(vector_años, c1,c2,c3,c4,i1,i2,i3,i4,i5,i6, Benefit, VA)
ACB

# APDO 2. Realizar un análisis MONTECARLO (muchos casos aleatorios)

# Ahora generamos las iteraciones que consideremos necesarias y almacenamos el
valor del VAN en un nuevo vector.
# Realizamos 1000 casos
años = ts(vector_años, start=c(2009), end=c(2041), frequency=1)
años

```

```
# Vector en el que vamos a almacenar los diferentes VAN creados, tiene que
# tener la misma dimensión (1000) que número de casos aleatorios que se van a
# simular.
VAN_MC = c(1:1000)

# Creamos el ciclo para iterar 1000 veces
for (i in 1:1000) {
  #c1 es igual que antes porque es la inversión y no varía

  #coste2, variación entre 0,9 y 1,1 en todos los años por la variabilidad que
  # se puede producir en costes de mantenimiento y operación
  # aparece la función sample: la función sample (replace=TRUE) con reposición
  # del programa R que responde a un muestreo aleatorio simple con repetición.
  ac2<-sample(9000:11000,33,replace=TRUE)
  alc2=ac2/10000
  Aleac2=c2*alc2

  #coste3, variación entre 0,9 y 1,1 en todos los años por la variabilidad que
  # se puede producir en el tiempo de desplazamiento
  ac3<-sample(9000:11000,33,replace=TRUE)
  alc3=ac3/10000
  Aleac3=c3*alc3

  #coste4, variación entre 0,9 y 1,1 en todos los años por la variabilidad que
  # se puede producir en las pérdidas de ventas en los comercios
  ac4<-sample(9000:11000,33,replace=TRUE)
  alc4=ac4/10000
  Aleac4=c4*alc4

  #ingreso1, variación entre 0,9 y 1,1 en los años 2016 a 2041 por la
  # variabilidad que se puede producir en el nº de viajeros del tranvía
  #entre 2009 y 2015 es fijo porque son datos ya conocidos (ex-post)
  ai1<-sample(9000:11000,26,replace=TRUE)
  ai1prima=ai1/10000
  ai1bis<-rep(1,7)
  #concatenar vectores
  ali1<-c(ai1bis,ai1prima)
  Aleai1=i1*ali1

  #ingreso2, variación entre 0,9 y 1,1 en todos los años por la variabilidad
  # que se puede producir en el ahorro tiempo desplazamiento
  ai2<-sample(9000:11000,33,replace=TRUE)
  ali2=ai2/10000
```

```
Aleai2=i2*ali2
```

```
#ingreso3, variación entre 0,9 y 1,1 en los años 2016 a 2041 por la  
variabilidad que se puede producir en los km recorridos por el bus urbano
```

```
#entre 2009 y 2015 es fijo porque son datos ya conocidos (ex-post)
```

```
ai3<-sample(9000:11000,26,replace=TRUE)
```

```
ai3prima=ai3/10000
```

```
ai3bis<-rep(1,7)
```

```
#concatenar vectores
```

```
ali3<-c(ai3bis,ai3prima)
```

```
Aleai3=i3*ali3
```

```
#ingreso4, variación entre 0,9 y 1,1 en los años 2016 a 2041 por la  
variabilidad que se puede producir en el nº de accidentes futuros
```

```
#entre 2009 y 2015 es fijo porque son datos ya conocidos (ex-post)
```

```
ai4<-sample(9000:11000,26,replace=TRUE)
```

```
ai4prima=ai4/10000
```

```
ai4bis<-rep(1,7)
```

```
#concatenar vectores
```

```
ali4<-c(ai4bis,ai4prima)
```

```
Aleai4=i4*ali4
```

```
#ingreso5, variación entre 0,9 y 1,1 en todos los años por la variabilidad  
que se puede producir en los niveles de ruido
```

```
ai5<-sample(9000:11000,33,replace=TRUE)
```

```
ali5=ai5/10000
```

```
Aleai5=i5*ali5
```

```
#ingreso6, variación entre 0,9 y 1,1 en todos los años por la variabilidad  
que se puede producir en la contaminación atmosférica
```

```
ai6<-sample(9000:11000,33,replace=TRUE)
```

```
ali6=ai6/10000
```

```
Aleai6=i6*ali6
```

```
Alea_Benefit <-rep(0,33)
```

```
for (j in 1:33) {
```

```
  Alea_Benefit[j] =  
(Aleai1[j]+Aleai2[j]+Aleai3[j]+Aleai4[j]+Aleai5[j]+Aleai6[j])-  
(c1[j]+Aleac2[j]+Aleac3[j]+Aleac4[j])
```

```
}
```

#hay que crear una aleatorio (entre 3,5% y 4,5%) para la tasa descuento entre los años 2017 y 2041, para ellos hay que multiplicar la tasa de 4% por 0.875 ó 1.125

```
tasa1<-sample(8750:11250,25,replace=TRUE)
tasa1prima=tasa1/10000
tasabis<-rep(1,8)
#concatenar vectores
tasabisbis<-c(tasabis,tasa1prima)
Aleatasa=tasa*tasabisbis

Alea_VA<-rep(0, 33)
for (j in 1:33) {
  Alea_VA[j] = Alea_Benefit[j]/((1+Aleatasa[j])^(años[j]-2016))
}

Alea_VAN = sum (Alea_VA)
VAN_MC[i] = Alea_VAN
}
VAN_MC

# VAN_MC representa el vector con el resultado del VAN para todos los casos
aleatorios creados, en este caso son 1000.

tabla1000casos<-data.frame(VAN_MC)

# Para tener todos los datos unidos, creamos un DataFrame (estructura
tabular)
ACB_MONTECARLO = data.frame(años, c1, Aleac2, Aleac3, Aleac4, Aleai1,
Aleai2,Aleai3, Aleai4,Aleai5, Aleai6, Alea_Benefit, Alea_VA)
ACB_MONTECARLO

# Ahora nos interesa tratar estadísticamente esos valores generados.
# Obtenemos la media
Media_MC = mean (VAN_MC)
Media_MC
# La Varianza
Varianza_MC = var (VAN_MC)
Varianza_MC
# El histograma
hist (VAN_MC)
# Generamos gráfico de densidad
plot(density(VAN_MC))
```

---

```
# Ordenamos de menor a mayor el vector de VAN
VAN_MC_ordenado = sort(VAN_MC, decreasing=FALSE)

# Y lo representamos
plot (VAN_MC_ordenado, main="Probabilidad de VAN", xlab="Probabilidad
acumulada", ylab="VAN en u.m.", type="l")

#####

# TFM

# "Análisis socio-económico ex-post de la implantación del tranvía en Zaragoza
mediante la metodología del Análisis Coste-Beneficio"

# Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

# DANIEL VERA OVEJAS

# ETSICCP de Santander, 2016

#####
```

