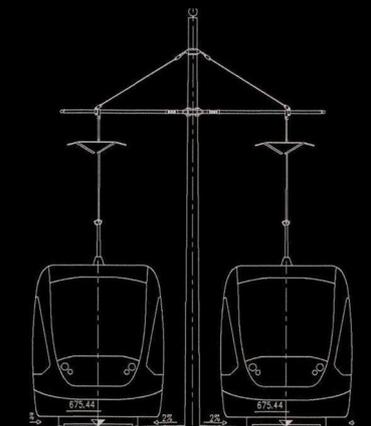


MODELO DE UMBRALES PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA MOVILIDAD URBANA

Julio Alberto Soria Lara

Tesis Doctoral. Universidad de Granada
Octubre 2011

Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio



MODELO DE UMBRALES PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA MOVILIDAD URBANA

**Tesis Doctoral. Universidad de Granada
Octubre 2011**



**Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio
Programa de doctorado en Urbanismo, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente.**

**Doctorando:
D. Julio Alberto Soria Lara
Licenciado en Ciencias Ambientales**

**Director:
D. Luis Miguel Valenzuela Montes
Dr. Geógrafo**

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: Julio Alberto Soria Lara
D.L.: GR 1071-2012
ISBN: 978-84-695-1077-3

RESUMEN

A lo largo de los últimos 50 años, el objetivo de hacer más eficiente la movilidad urbana, especialmente como consecuencia del impacto originado por el creciente uso del automóvil, ha implicado el desarrollo de modelos e instrumentos alternativos, capaces de atender a las distintas demandas a las que está sometida la movilidad urbana y que son de naturaleza social, económica, tecnológica, ambiental, etc.

Con especial atención a la componente ambiental de la movilidad, el objetivo principal de esta investigación está vinculado a cómo contribuir en el desarrollo de instrumentos que orienten la movilidad urbana hacia unos principios sostenibles. Por ello, el trabajo gira en torno a la propuesta, desarrollo y aplicación práctica de un *modelo de evaluación de la movilidad basado en umbrales ambientales* (en adelante *modelo de umbrales ambientales*).

Entre las características del modelo desarrollado, destaca su utilidad para comparar diferentes alternativas de cara a una determinada intervención sobre la movilidad en el medio urbano (implantación de sistemas de transporte público, evaluación de itinerarios motorizados, medidas de restricción de tráfico, etc.). De esta forma, el *modelo de umbrales ambientales* mide el rendimiento ambiental de la movilidad, entendiendo a ésta como un proceso, en lugar de sus consecuencias ambientales en términos de impacto ambiental. Su funcionamiento se basa en indicadores cuantitativos sobre los que se adoptan umbrales ambientales que facilitan no solo el estudio de las “compensaciones” de tipo ambiental que poseen unas alternativas sobre otras, sino que fomenta el desarrollo de instrumentos de decisión ambiental que refuerzan su enfoque proactivo. Además, con el objetivo de orientar el *modelo* propuesto a una aproximación cercana a la gestión de la demanda de desplazamientos, la evaluación realizada por el *modelo de umbrales ambientales* estará espacializada sobre unidades homogéneas resultantes de la integración de factores vinculados a la estructura urbana y a los modos de viaje. Estas unidades espaciales reciben el nombre de *entornos de movilidad*.

Se utiliza como caso de estudio un corredor de movilidad en el área metropolitana de Granada (España), caracterizado por la decisión de las instituciones competentes de implantar un sistema de metro ligero, como elemento articulador y promotor de pautas de movilidad más sostenibles en los municipios implicados. De esta forma, se plantean dos posibles alternativas para el corredor sobre las que aplicar el *modelo de umbrales ambientales*: (i) Alternativa S.0, relativa a mantener el corredor con las características que éste tenía en el año 2008 y sin considerar la implantación del sistema de metro ligero; (ii) Alternativa S.1, relativa a implantar el sistema de metro ligero realizando una reordenación viaria y de los sistema de transporte del corredor respecto de su situación inicial en el año 2008.

ABSTRACT

Over the last 50 years, models and tools have been developed with the aim to respond to different demands of mobility (environmental, social, economical, technological, etc.). This is a consequence of growing use of automobile and the necessity for promoting a more efficient mobility.

The contribution of tools development for orienting the urban mobility toward sustainable principles is the main research objective. For this reason, the PhD dissertation is based on the proposal, development and practical application of *model for evaluation of urban mobility from environmental thresholds (environmental thresholds model)*.

The *environmental thresholds model* is especially useful for comparison of alternatives of urban mobility (implementation of new public transport systems, assessment of motorized itineraries, etc.). For that, not only does the *environmental thresholds model* measures the environmental performance of urban mobility, but it establishes threshold values for developing concepts and criteria which foment the proactive dimension of *model* in the decision-making process. Moreover, the *model* is oriented to 'demand management' approach as a consequence of the evaluation is based on spatial units named *mobility environments*. The concept of *mobility environment* is the result of integration between urban structure and travel patterns factors.

The *model* is validated in a transit corridor in the metropolitan area of Granada (Spain) where the institutions have decided the implementation of light rail system (LRT). For *model*-application has been designed two alternatives: (i) Alternative S.0, which is based on non-implementation of LRT in the corridor and; (ii) Alternative S.1, which is based on the implementation of LRT.

MODELO DE UMBRALES PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA MOVILIDAD URBANA

ÍNDICE

0. <u>Introducción general</u>	9
0.1 Contexto general	11
0.2 Planteamiento específico	12
0.3 Caso de estudio	15
0.4 Hipótesis	21
0.5 Objetivos	22
0.6 Acotación del método de trabajo	22
0.6.1 Comparación ambiental de alternativas	24
0.6.2 Evaluación del rendimiento ambiental y definición de umbrales	26
0.6.3 La evaluación ambiental desde una dimensión integrada de la estructura urbana y los modos de viaje	27
0.6.4 Sensibilidad del rendimiento ambiental a factores vinculados a la movilidad urbana	29
0.7 Estructura del documento	30
1. <u>Fundamentos teóricos de la investigación</u>	32
1.1 Introducción	35
1.2 La movilidad urbana. Una aproximación a su dimensión ambiental	36
1.2.1 Principios para una movilidad urbana sostenible	36
1.2.2 Hacia una planificación ambiental de la movilidad urbana	42
1.2.3 “Entornos de movilidad” como unidades espaciales para la evaluación de la movilidad	47
1.3 La evaluación ambiental de la movilidad urbana	54
1.3.1 Indicadores de sostenibilidad y sistemas de monitorización ambiental de la movilidad	55
1.3.2 Sistemas de evaluación del rendimiento ambiental. Concepto y evolución	59
1.3.3 Aportaciones y particularidades del modelo de umbrales ambientales	64
1.4 La integración ambiental-urbana de los sistemas de metro ligero	66
1.4.1 Características y factores de éxito	66
1.4.2 Los sistemas de metro ligero en el contexto andaluz	73
1.5 Acotaciones teóricas para el desarrollo de un modelo de evaluación de la movilidad urbana basado en umbrales ambientales	77
1.5.1 Acotaciones sobre la dimensión ambiental de la movilidad urbana	77
1.5.2 Acotaciones sobre la evaluación ambiental de la movilidad urbana	78
1.5.3 Acotaciones sobre los sistemas de metro ligero	79
2. <u>Caso de estudio: Un corredor de movilidad en el Área Metropolitana de Granada</u>	80

2.1	Introducción	83
2.2	Las alternativas del corredor como escenarios de movilidad. Fuentes de información	88
2.2.1	“Factores variables” de cada alternativa	88
2.2.2	“Factores constantes” en ambas alternativas	98
2.3	Las alternativas del corredor y el “modelo de umbrales ambientales”	102
3.	<u>Un sistema de indicadores para la evaluación del rendimiento ambiental</u>	103
3.1	Introducción y objetivos	106
3.2	Descripción metodológica del sistema de indicadores	108
3.2.1	Fase 1ª. Diseño y selección de indicadores	108
3.2.2	Fase 2ª. Agregación de resultados	116
3.2.3	Fase 3ª. Aplicación al caso de estudio	118
3.3	Sistema de indicadores y comparación ambiental de alternativas	119
3.3.1	Indicadores relativos al uso de energía y otros recursos	119
3.3.2	Indicadores relativos a la emisión de residuos	134
3.3.3	Indicadores relativos al uso modal viario	144
3.3.4	Valor ambiental global. Agregación de resultados	153
3.4	Conclusiones	162
3.4.1	Sobre el sistema de indicadores	162
3.4.2	Sobre los resultados del sistema de evaluación y las transformaciones del corredor de cada alternativa	165
3.4.3	Sobre la aportación del sistema de indicadores al modelo de umbrales ambientales	169
4.	<u>Umbrales de tendencia ambiental</u>	170
4.1	Introducción y objetivos	173
4.2	Método para la estimación de umbrales ambientales	174
4.2.1	Fase 1ª. Modelo conceptual	174
4.2.2	Fase 2ª. Procedimiento para la estimación de umbrales ambientales	176
4.3	Umbrales del sistema de indicadores	179
4.3.1	Indicadores con regulación normativa	179
4.3.2	Indicadores sin regulación normativa	185
4.4	Umbrales ambientales y comparación de alternativas	195
4.4.1	Indicadores relativos al uso de energía y otros recursos	195
4.4.2	Indicadores relativos a la emisión de residuos	205
4.4.3	Indicadores relativos al uso modal viario	214
4.4.4	Valor ambiental global	223

4.5	Conclusiones	.....	227
4.5.1	Sobre el método utilizado para la estimación de umbrales ambientales	.....	227
4.5.2	Sobre los umbrales ambientales en la comparación de alternativas	.....	228
4.5.3	Sobre los intervalos de transición	.....	229
5.	<u>“Entornos de movilidad” y rendimiento ambiental del corredor</u>	.....	230
5.1	Introducción y objetivos	.....	234
5.2	Método para la identificación de “entornos de movilidad” y diagnóstico del rendimiento ambiental	.....	236
5.2.1	Método para la identificación de “ <i>entornos de movilidad</i>”	.....	236
5.2.2	Diagnóstico del rendimiento ambiental del cada “entorno de movilidad”	.....	242
5.3	“Entornos de movilidad” en el caso de estudio	.....	243
5.3.1	Estructura urbana del corredor	.....	243
5.3.2	Accesos y modos de viajes en el corredor	.....	265
5.3.3	“Entornos de movilidad” en el corredor	.....	290
5.4	Rendimiento ambiental del corredor en los “entornos de movilidad”	.....	298
5.4.1	Rendimiento ambiental en el entorno de proximidad y alcance local	.....	301
5.4.2	Rendimiento ambiental en el entorno de proximidad y distribución circulatoria	.....	309
5.4.3	Rendimiento ambiental en el entorno de circulación motorizada	.....	317
5.4.4	Rendimiento ambiental en el entorno de centralidad metropolitana	.....	324
5.4.5	Rendimiento ambiental en el entorno orientado a estaciones de transporte público	.....	331
5.5	Conclusiones	.....	337
5.5.1	Sobre los “entornos de movilidad” y comparación de alternativas	.....	337
5.5.2	Sobre el método para identificar “entornos de movilidad”	.....	338
5.5.3	Sobre los “entornos de movilidad” y el caso de estudio	.....	340
5.5	Conclusiones	.....
6.	<u>Condicionantes del rendimiento ambiental de la movilidad urbana</u>	.....	342
6.1	Introducción y objetivos	.....	345
6.2	Método para estudiar los “condicionantes ambientales”	.....	348
6.2.1	Estimación de valores de impacto y de óptimo	.....	348
6.2.2	Estimación de parámetros de diagnóstico	.....	349
6.3	Valores de impacto y de óptimo para cada factor del corredor	.....	352
6.3.1	Factores de distribución modal viaria	.....	354
6.3.2	Factores de flujo modal	.....	359
6.3.3	Factores de ocupación modal de viajeros	.....	363
6.3.4	Valores de impacto y de óptimo para cada “entorno de movilidad”	.....	367
6.4	Parámetros de diagnóstico para cada “entorno de movilidad”	.....	369

6.4.1	Parámetros de saturación y rangos de variación ambiental	369
6.4.2	Capacidad de absorción y capacidad de mejora de cada “entorno de movilidad”	387
6.5	Conclusiones	390
6.5.1	Sobre la utilidad de estudiar los condicionantes del rendimiento ambiental	390
6.5.2	Sobre el método utilizado y los resultados obtenidos	390
7.	<u>El “modelo de umbrales ambientales”. Aplicación y utilidad</u>	392
7.1	Introducción y objetivos	394
7.2	El “modelo de umbrales ambientales”. Fases y resultados	394
7.3	Utilidad del “modelo de umbrales ambientales”	400
7.4	Conclusiones	407
8.	<u>Conclusiones</u>	408
7.1	Sobre las hipótesis y objetivos de la investigación	410
7.2	Sobre la metodología de la investigación	414
7.3	Sobre las aportaciones de la investigación	417
7.4	Sobre la idoneidad del caso de estudio	418
7.5	Sobre las limitaciones de la investigación	419
7.6	Sobre las líneas de investigación futuras	420
9.	<u>Introduction and conclusions</u>	421
9.1	Introduction	423
9.1.1	Background	423
9.1.2	Research topic	423
9.1.3	Study case	426
9.1.4	Hypothesis	427
9.1.5	Objectives	428
9.1.6	Document structure	428
9.2	Conclusions	430
9.2.1	Hypothesis	430
9.2.2	Methodology	434
9.2.3	The advances of research	436
9.2.4	The suitability of study case	438
9.2.5	The limitations of research	438
9.2.6	Future research topics	439
	<u>Referencias bibliográficas</u>	440
	<u>Índice de figuras</u>	453
	<u>Índice de tablas</u>	464

INTRODUCCIÓN GENERAL

INTRODUCCIÓN GENERAL

ÍNDICE

0.1	Contexto general	.....	11
0.2	Planteamiento específico	.....	12
0.3	Caso de estudio	.....	15
0.4	Hipótesis	.....	21
0.5	Objetivos	.....	22
0.6	Acotación del método de trabajo	.....	22
0.6.1	Comparación ambiental de alternativas	.....	24
0.6.2	Evaluación del rendimiento ambiental y definición de umbrales	.....	26
0.6.3	La evaluación ambiental desde una dimensión integrada de la estructura urbana y los modos de viaje	.....	27
0.6.4	Sensibilidad del rendimiento ambiental a factores vinculados a la movilidad urbana	.....	29
0.7	Estructura del documento	.....	30

0.1 Contexto general

La movilidad urbana sostenible como paradigma en la actualidad (Banister, 2008), engloba un proceso evolutivo de reflexión y debate, tanto a nivel académico como institucional, cuya prioridad central está vinculada a cómo hacer más eficiente la movilidad urbana.

Especialmente desde la década de los años 70 y 80 hasta la actualidad -con algún hito relevante en los años 60 (Buchanan, 1963)- se suceden los informes e investigaciones¹ en torno a la necesidad de impulsar nuevos enfoques para la planificación y evaluación de la movilidad urbana, que atiendan -entre otras- a las demandas ambientales, especialmente como consecuencia del creciente uso del automóvil (Dupuy, 1999; Newman y Kenworthy, 1999).

En consecuencia, durante los años 90 se consolidan diferentes perspectivas sobre cómo planificar y evaluar la movilidad urbana, todas ellas alternativas a enfoques más clásicos y basados fundamentalmente, en la predicción de la demanda de desplazamientos (Goodwin *et al*, 1991) (May, 1991) (Banister y Button, 1992) (Owens, 1995) (Marvin y Guy, 1997) (Stead, 2010). Estos enfoques alternativos podrían clasificarse en tres tipos, todos ellos complementarios: (i) La planificación urbanística y la localización de actividades; (ii) El impulso de medidas reguladoras-fiscales o, finalmente; (iii) Medidas que potencien el avance tecnológico. De esta forma, aparecen los denominados modelos de gestión de la demanda de desplazamientos urbanos (Bertolini *et al.*, 2008) (May *et al*, 2003), que a diferencia de los enfoques de predicción, centran sus objetivos en el incremento de la oferta modal, la gestión de las infraestructuras existentes, conjuntamente con la reducción de la necesidad de viajar por medio de la localización de actividades, de ahí, que se piensen en ellos como los modelos más idóneos para alcanzar una movilidad urbana que tienda a la sostenibilidad ambiental (May, 2006) (Litman, 2009).

Entre los diferentes enfoques descritos, son de interés para esta investigación, aquellos que ponen su énfasis en el papel del planeamiento urbanístico y la localización de actividades como elementos para gestionar la demanda de desplazamientos urbanos (Naess, 2006), basándose en el estudio de las relaciones entre estructura urbana y los modos de viaje con enfoques próximos a Edwin y Cervero (2001), Cervero y Kockleman (1997), Geurs (2000), Priemus *et al* (2001), Cervero (2002), Song y Knaap (2004) y Naess (2006).

En este contexto, atender a cuestiones ambientales desde la perspectiva de gestionar la demanda de desplazamientos, exige métodos de evaluación cada vez más precisos, que permitan analizar hasta qué punto las intervenciones sobre la movilidad urbana están más o

¹ Ver:

- A nivel internacional los trabajos de: Metcalf (1978), Adams (1981), Burnett y Hanson (1982), Goodwin *et al.*, (1991), Breheny y Rookwood, (1993), Cervero (1998) y Banister (1999; 2005).

- A nivel nacional los trabajos de: Barrero y Martínez-Vilanova (1980), Fernández *et al.*,(1980), Pozueta (1992; 2000), (Hernández-Aja, 1992) (Miralles, 1997) (Herce, 2009).

-A nivel institucional los informes: OECD (1991), CEC (1992), CEC (1998), CE(2011).

menos orientadas a la sostenibilidad ambiental (Litman 2009). Esta cuestión ha originado un incremento notable de indicadores ambientales en esta materia durante los últimos años (EC, 2009) (EUROSTAT, 2009) (EEA, 2009) (OECD, 2008a) (OECD, 2008b), muchos de ellos encaminados a evaluar la *funcionalidad ambiental* de la movilidad urbana en términos de *rendimiento*, en lugar de sus *consecuencias ambientales* en términos de *impacto*² (Peyrebrune, 2000) (Gudmundsson, 2001) (Ricci *et al.*, 2010), resultado de algunas características particulares de la movilidad que tienen que ver con: (i) La movilidad como un sistema dinámico; (ii) Condicionado por factores externos (económicos, urbanísticos, sociales, etc.); (iii) Afecta al globalidad de la ciudad; (iv) Sus efectos ambientales suelen ser reversibles y fluctuantes salvo ciertas excepciones.

Por estas razones, parece oportuno y necesario el desarrollo de instrumentos para la evaluación ambiental de la movilidad urbana, que centren sus análisis en medidas de rendimiento ambiental desde una perspectiva integrada entre usos del suelo y modos de viaje, con un enfoque proactivo que permita la interacción durante el proceso de toma de decisiones con otros factores vinculados a la planificación y evaluación de la movilidad urbana.

0.2 Planteamiento específico

En consecuencia con el apartado anterior, esta investigación aborda ***la propuesta, desarrollo y aplicación de un modelo para la evaluación de la movilidad urbana basado en umbrales ambientales*** (en adelante *modelo de umbrales ambientales*). Sus principales características son:

- *Comparar y seleccionar alternativas*. La utilidad fundamental del modelo reside en su capacidad para comparar y seleccionar alternativas desde una óptica ambiental, tomando como punto de partida una determinada intervención en la movilidad urbana (por ejemplo: reordenación viaria, modificación de la red de transporte público, restricciones de tráfico, implantación de nuevas líneas de transporte público, etc.) (ver capítulos 3, 4 y 5).
- *Medir el rendimiento ambiental* en base a cómo funciona la movilidad urbana, en lugar de centrarse en medir las consecuencias ambientales resultantes de ésta en términos de impacto (ver capítulo 3).
- *Sistema de evaluación ambiental cuantitativo* como complemento a sistemas de evaluación ambiental clásicos, donde la mayor parte de los efectos ambientales son evaluados a nivel cualitativo (Gómez, 1999) (ver capítulos 3, 4 y 6).

² El concepto *rendimiento* se utiliza de forma similar al término inglés “*performance*”, haciendo referencia a una medida que abarca una visión de los diferentes aspectos que pueden ser tenidos en cuenta en el funcionamiento de un sistema determinado, de acuerdo a la definición de De Borger *et al* (2002), en contrapunto con una definición más clásica, donde el *rendimiento* sería entendido como el producto resultante en función de los medios utilizados.

- *Establecer umbrales de tendencia ambiental*, que precisen cuánto de positiva o negativa es cada alternativa desde el punto de vista de su rendimiento ambiental (ver capítulo 4)
- *Evaluación integrada entre estructura urbana y los modos de viaje*, de manera que los resultados del modelo puedan representarse sobre unidades espaciales producto de la relación entre elementos de la estructura urbana y de los modos de viaje, que hagan útil su aplicación desde una perspectiva basada en la gestión de la demanda (ver capítulo 5).
- *Carácter proactivo*, consecuencia de que sus resultados pueden ayudar durante el proceso de elaboración de las diferentes alternativas, interactuando con otras variables presentes en la toma de decisiones (económicas, sociales, tecnológicas, modales, etc.) (ver capítulos 5 y 6).

Tales características del **modelo de umbrales ambientales** vienen recogidas en las diferentes fases que componen su aplicación (ver figura 0.1):

- *Fase 1ª. Caso de estudio*. La primera fase del modelo implica acotar las diferentes alternativas que son objeto de evaluación. Esto supone un proceso de reconocimiento de las fuentes de información disponibles y su utilidad para evaluar el rendimiento ambiental de la movilidad urbana en cada alternativa (ver capítulo 2).
- *Fase 2ª. Sistema de indicadores*. La segunda fase supone el diseño de un sistema de indicadores para evaluar el rendimiento ambiental de la movilidad urbana en cada una de las alternativas. Los indicadores seleccionados estarán basados en características propias del funcionamiento de la movilidad urbana en el caso de estudio (capítulo 3).
- *Fase 3ª. Umbrales ambientales*. La tercera fase del modelo es relativa a la adopción de umbrales ambientales para cada uno de los indicadores que conforman el sistema de evaluación, con el objetivo de delimitar diferentes niveles de rendimiento ambiental para cada uno de ellos (ver capítulo 4).
- *Fase 4ª. Entornos de movilidad*. Donde los resultados de rendimiento ambiental se contextualizarán sobre diferentes unidades espaciales en las que será zonificado el caso de estudio, como consecuencia de una valoración integrada de las características de la estructura urbana y los modos de viaje. Tales unidades espaciales recibirán el nombre de *entornos de movilidad* (ver capítulo 5).
- *Fase 5ª. Condicionantes ambientales*. La última fase del modelo se encarga de analizar qué *factores* de la movilidad urbana son más influyentes sobre el rendimiento ambiental en las diferentes alternativas del caso de estudio, dotando a la evaluación realizada de una mayor precisión, a la vez que se refuerza el carácter proactivo del modelo.

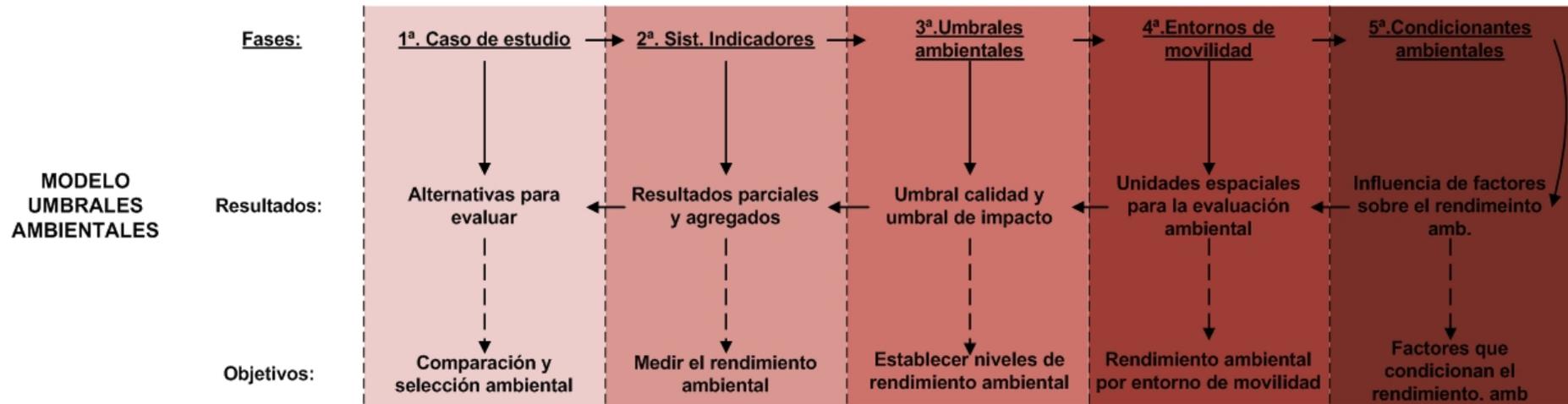


Figura 0.1. Fases del *modelo de umbrales ambientales* y relación secuencial de sus resultados y objetivos. Fuente: elaboración propia

0.3 Caso de estudio

Los diferentes conceptos y métodos propuestos en cada una de las fases citadas, serán aplicados y validados en el caso particular de un corredor de movilidad en el Área Metropolitana de Granada, donde las instituciones competentes han propuesto la implantación de un sistema de metro ligero que conecte los municipios de Albolote, Armilla, Granada y Maracena (ver figura 0.2).

A lo largo de la investigación, el *modelo de umbrales ambientales* se plantea y aplica sobre la comparación de dos posibles alternativas para este corredor:

- La alternativa S.0, relativa a mantener el corredor sin implantar el sistema de metro ligero.
- La alternativa S.1 relativa a realizar una reordenación viaria y de los sistemas de transporte del corredor como consecuencia de implantar el sistema de metro ligero³.

Antes de comentar algunas de las características principales que convierten a este corredor de movilidad en idóneo para el desarrollo y aplicación del *modelo de umbrales ambientales*, la figura 0.2 muestra su localización geográfica en los 4 municipios previamente citados.

³ El hecho de que el caso de estudio esté basado en la propuesta de implementación de un sistema de metro ligero en el Área Metropolitana de Granada, obliga a que uno de los argumentos centrales de la investigación giren en torno a este sistema de transporte público (ver apartado 1.1 del capítulo 1). Siendo determinante a este respecto, tanto los estudios relativos a factores de éxito en la implementación de sistemas de metro ligero (Priemus y Konings, 2001) (Babalik y Sutcliffe, 2002) (Hass-Klau y Crampton, 2005), como su repercusión en el ámbito metropolitano andaluz (Valenzuela *et al*, 2011) (ver apartado 1.4 del capítulo 1).

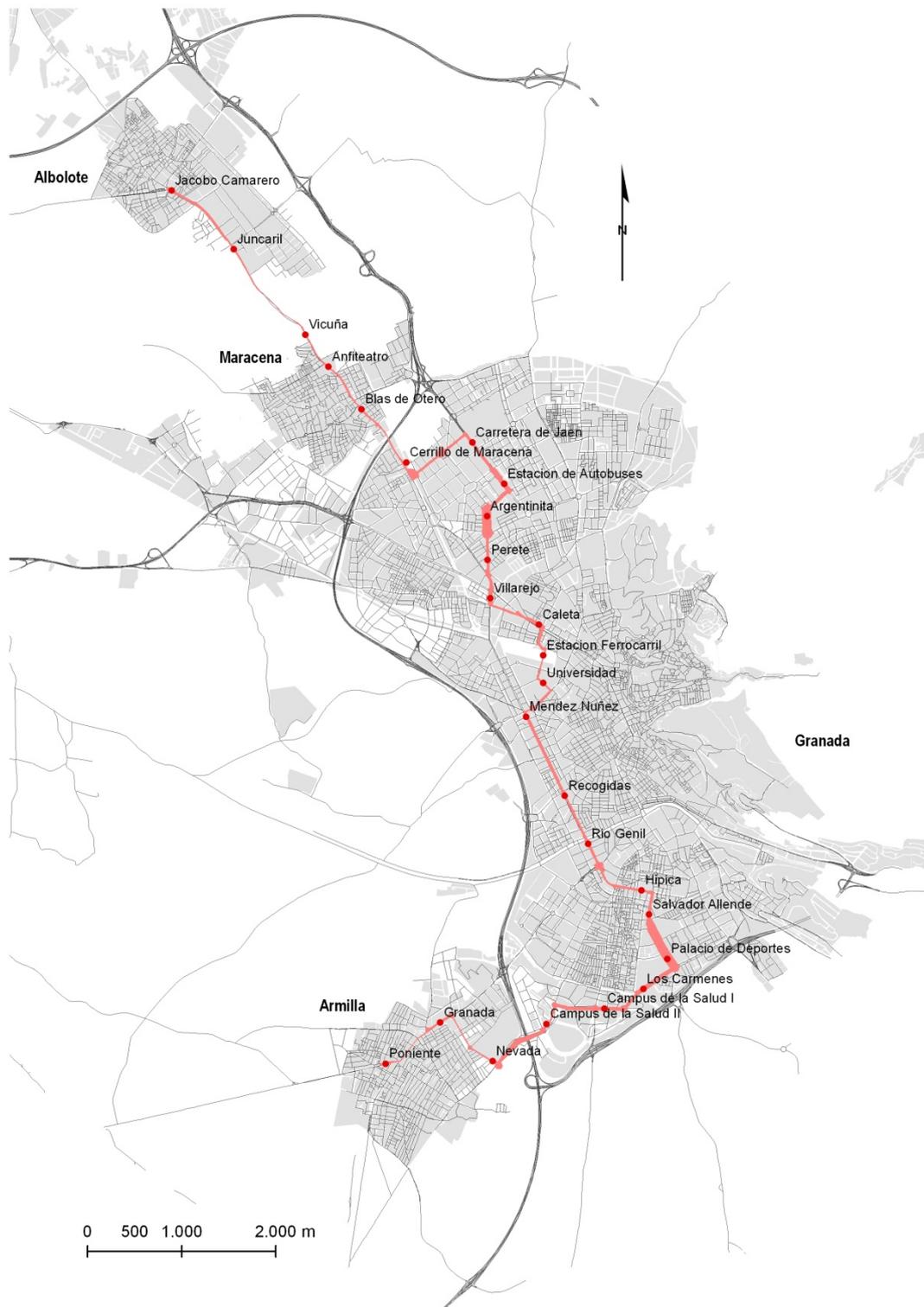


Figura 0.2. Localización geográfica del corredor y propuesta de paradas del sistema de metro ligero. Fuente: elaboración propia

La idoneidad de este corredor de movilidad para el desarrollo y aplicación del *modelo de umbrales ambientales* se debe a:

- a) *Cambios ambientales.* Las dos alternativas planteadas (alternativa S.0 y alternativa S.1) suponen dos opciones diferentes para el corredor en términos ambientales, a las que debe ser sensible el *modelo de umbrales* que se plantea en la investigación. Tales cambios ambientales se deben fundamentalmente al espíritu de cada una de estas alternativas, que mientras en la alternativa S.1 se centra fundamentalmente en priorizar el tráfico rodado en el corredor y especialmente el automóvil privado, en la alternativa S.0 los flujos de movilidad se orientan hacia el transporte público articulados por el sistema de metro ligero (ver figura 0.3).
- b) *Cambios de la sección urbana.* Al igual que en el caso anterior, las dos alternativas sobre las que se basa el trabajo suponen cambios importantes a nivel de la sección urbana del corredor, a los que debería ser sensible el *modelo de umbrales ambientales*. Además, el corredor se dividirá en 25 tramos de análisis (ver apartado 0.5 de esta introducción general), que permitirán trabajar con hasta 50 secciones viarias diferentes y representativas de un importante abanico de casuísticas, que van desde secciones que priorizan la actividad peatonal hasta secciones orientadas al vehículo privado, pasando por las distintas modalidades de implementación del metro ligero, tanto en superficie como subterráneo⁴ (ver figura 0.3).
- c) *Diversidad de lugares urbanos.* A lo largo del corredor existe un entorno urbano diverso representativo de situaciones que a priori pueden suponer demandas de movilidad diferentes y que, por lo tanto, servirán para enriquecer la validación del *modelo de umbrales* desde la óptica de una perspectiva basada en la gestión de la demanda de desplazamientos. Algunos ejemplos destacados se pueden ver en la figura 0.4, donde se recogen muestras de espacios residenciales de alta y baja densidad en el entorno del corredor, parques industriales y tecnológicos, equipamientos públicos universitarios, centros históricos de municipios tradicionales del primer cinturón metropolitano etc.
- d) *El corredor como eje articulador.* El corredor es un eje destacado desde como elemento articulador de flujos de movilidad metropolitanos, tal y como deriva de su capacidad de conexión con vías relevantes de los municipios que conforman el caso de estudio y que se disponen transversalmente a éste, de ahí, la importancia de evaluar desde una perspectiva ambiental posibles intervenciones sobre su movilidad (ver figura 0.5).

⁴ La propuesta de implantación del sistema de metro ligero recogida en la alternativa S.1, dispone un trazado en superficie en la mayor parte del corredor, con excepción de los tramos centrales localizados entre las paradas Universidad e Hípica, equivalentes a un 16% de la longitud del corredor (2,65 Km).



Figura 0.3. Ejemplos de secciones viarias de cada alternativa del corredor. Fuente: elaboración propia

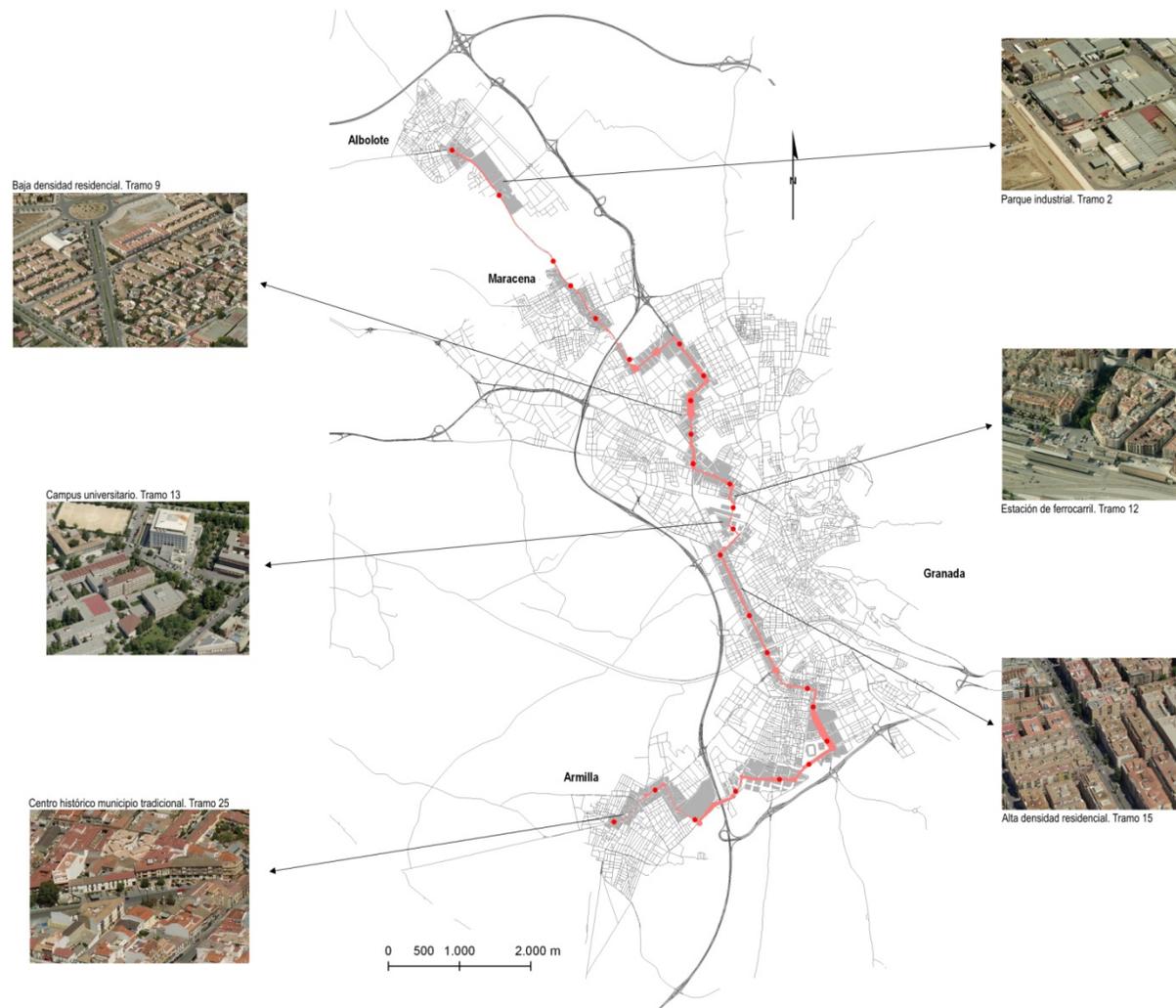


Figura 0.4. Ejemplos del entorno urbano del corredor. Fuente: elaboración propia a partir de Goolzoom.

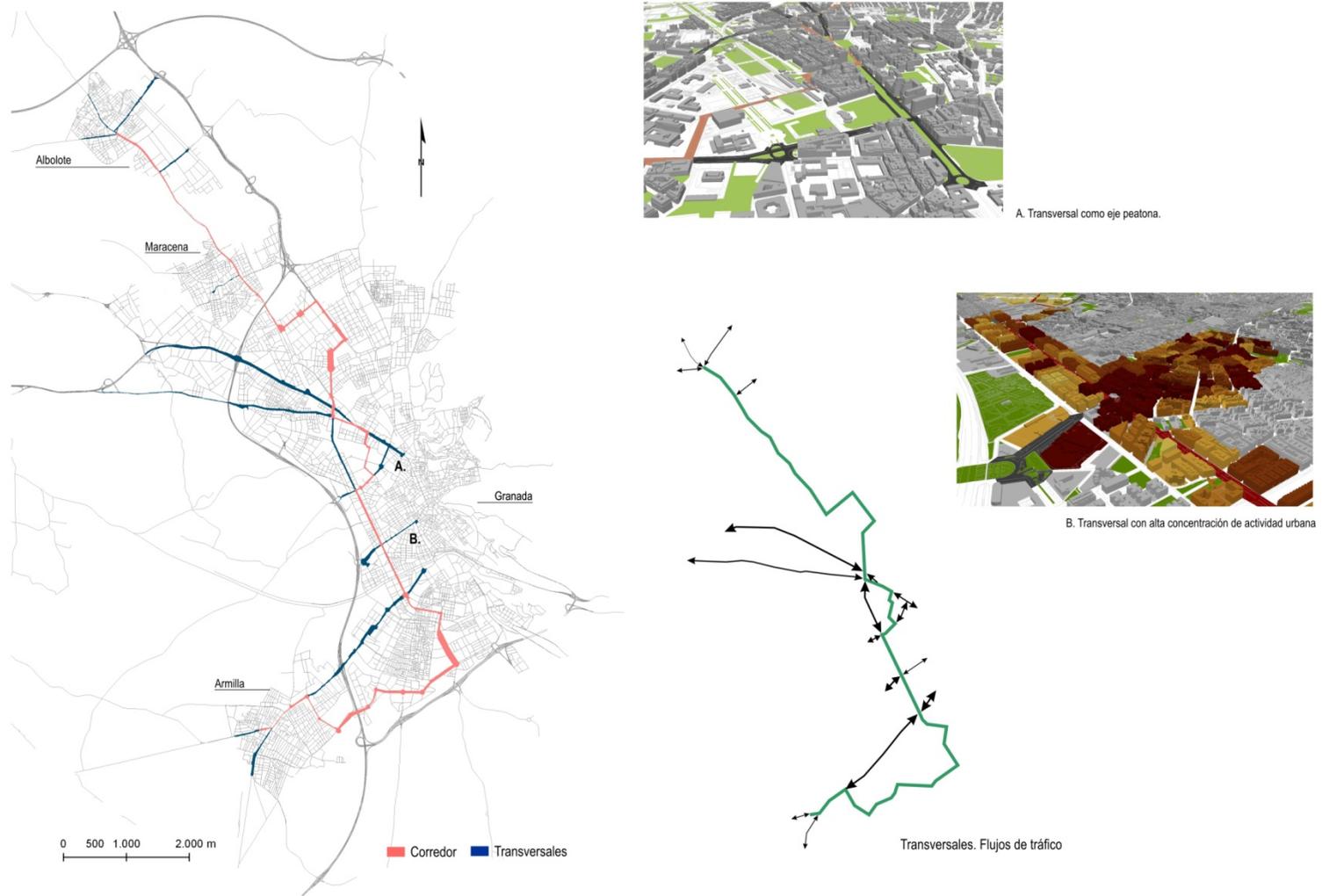


Figura 0.5. Corredor y vías transversales. Fuente: elaboración propia

0.4 Hipótesis

A través de la propuesta del *modelo de umbrales ambientales* previamente introducido, subyacen las siguientes hipótesis de investigación:

- Aunque multitud de investigaciones indican la necesidad de desarrollar y aplicar indicadores orientados a analizar la funcionalidad ambiental de una determinada propuesta sobre la movilidad urbana, como medio para analizar su tendencia hacia la sostenibilidad⁵ (Litman, 2009), de manera excepcional se han desarrollado métodos, por ejemplo basados en umbrales ambientales, capaces de ser más precisos en el grado de efectividad ambiental de tales propuestas y no solo su tendencia u orientación. Por esta razón, **esta investigación explora las aportaciones derivadas de implementar umbrales en los sistemas de evaluación del rendimiento ambiental, como método para optimizar su capacidad de diagnóstico y decisión.**
- La escasa visión espacial de la evaluación ambiental limita, en el caso de la movilidad urbana, el desarrollo de un enfoque integrado entre factores de la estructura urbana y de los modos de viaje, a pesar de los distintos trabajos que ponen énfasis en su nivel de interdependencia⁶. En consecuencia, **esta investigación profundiza sobre la espacialidad de la evaluación ambiental de la movilidad urbana, como una de las dimensiones más operativas para una implementación efectiva de sistemas de evaluación.**
- El enfoque ambiental orientado a valorar las consecuencias ambientales de una determinada actividad o proyecto (por ejemplo: evaluaciones de impacto ambiental, evaluaciones estratégicas, protocolos, etc.) ve limitada su capacidad de interacción con otros elementos influyentes en la toma de decisiones. Por ello, **esta investigación intenta demostrar que desarrollar conceptos y métodos para detectar qué factores son más influyentes en el rendimiento ambiental, y no solo la valoración de sus consecuencias finales, significa incrementar la capacidad proactiva de la evaluación ambiental.**

⁵ En el apartado 1.3 del capítulo 1, se pueden ver ejemplos de sistemas de indicadores que se ocupan de la movilidad urbana (EUROSTAT, 2009) (EEA, 2009) (Joumard y Gudmonsson, 2010), así como, ejemplos de sistemas de evaluación del rendimiento ambiental de la movilidad en diferentes contextos y aplicaciones (López, 2007) (Vtrans, 2008).

⁶ Ver los trabajos de Banister (2005) y Naess (2006) donde se recopilan distintas investigaciones centradas en estudiar la relación entre estructura urbana y modos de viaje.

0.5. Objetivos

Una vez introducido el objetivo general de la investigación, relativo a **la propuesta, desarrollo y aplicación de un modelo para la evaluación de la movilidad urbana basado en umbrales ambientales**, cabe señalar como objetivos específicos los siguientes:

- **Caracterizar el estado del conocimiento sobre el planteamiento general de la investigación**, orientado a la evaluación ambiental de la movilidad urbana.
- **Diseñar y aplicar un sistema de indicadores para evaluar el rendimiento ambiental de la movilidad urbana**, capaces de mostrar lecturas parciales (por indicador o grupos de indicadores) sobre aspectos relativos al funcionamiento ambiental de ésta, así como, lecturas globales o de conjunto (índice agregado).
- **Avanzar en el diseño de procedimientos para la estimación de umbrales de tendencia ambiental** como método para dotar de mayor precisión a los instrumentos de evaluación existentes.
- **Proponer avances conceptuales y metodológicos en el estudio de la relación entre estructura urbana y modos de viaje** orientados a la evaluación ambiental de la movilidad urbana.
- **Desarrollar conceptos y métodos para analizar la sensibilidad del rendimiento ambiental a factores vinculados a la movilidad urbana**, de modo que se fortalezca la identidad del modelo respecto de la evaluación y comparación ambiental de alternativas.

0.6. Acotación del método de trabajo

Consecuencia de que cada capítulo recoge con precisión el método utilizado en su desarrollo, este apartado tiene por objetivo mostrar las líneas metodológicas que estructuran el trabajo, con el fin de acotar su alcance. Tales líneas son:

- Comparación ambiental de alternativas (ver capítulos 3, 4 y 5)
- Evaluación del rendimiento ambiental y definición de niveles umbrales (ver capítulos 3 y 4)
- La evaluación ambiental desde una dimensión integrada de la estructura urbana y los modos de viaje (ver capítulo 4 y 5)
- Sensibilidad del rendimiento ambiental a factores vinculados a la movilidad urbana (ver capítulos 5 y 6)

Antes de detallar algunos de los rasgos más básicos de cada una de estas líneas de trabajo, la figura 0.6 recoge un diagrama de flujo del proceso metodológico que da soporte a la investigación.

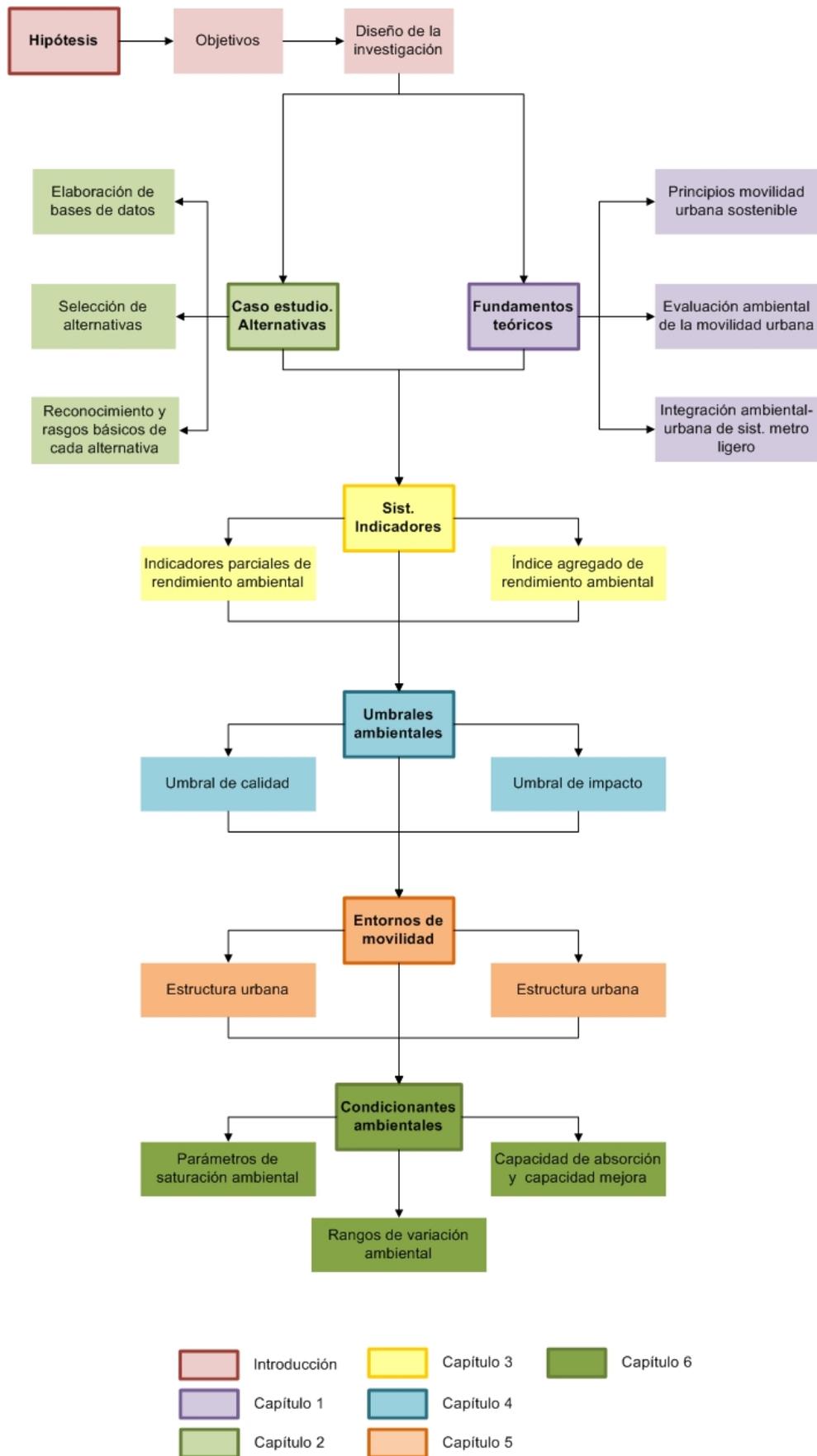


Figura 0.6. Diagrama de flujo del proceso metodológico de la investigación

0.6.1. Comparación ambiental de alternativas

Una de las características principales del *modelo de umbrales ambientales* es su capacidad para evaluar y comparar alternativas. Atendiendo a la breve descripción del caso de estudio realizada en el apartado 0.1.3., en esta investigación son consideradas dos posibles alternativas para el corredor de movilidad del Área Metropolitana de Granada: La alternativa S.0, relativa a mantener el corredor sin la implantación del sistema de metro ligero; (ii) La alternativa S.1 relativa a realizar una reordenación viaria y de los sistemas de transporte del corredor como consecuencia de implantar dicho sistema de transporte público (ver capítulo 2).

Por esta razón, la aplicación de cada uno de los conceptos y métodos desarrollados en la investigación, se aplicarán de forma comparativa para la alternativa S.0 y S.1, siendo una constante a lo largo de todo el documento⁷.

Además de lo anterior, cada una de las alternativas se divide en 25 tramos de estudio que actúan a modo de unidades funcionales del corredor, sobre las que se aplica el *modelo de umbrales ambientales* (ver figura 0.3). Estos 25 tramos están delimitados por la localización de las posibles estaciones de metro ligero. La idoneidad de dividir el corredor en 25 tramos para cada alternativa responde a las siguientes cuestiones:

- Permite extraer conclusiones pormenorizadas de los diferentes sectores del corredor⁸.
- Incrementa la capacidad de poner en relación el rendimiento ambiental de cada alternativa del corredor con su entorno urbano inmediato⁹.
- Favorece la comprensión del corredor como eje estructurante del contexto metropolitano donde se ubica el caso de estudio, especialmente como consecuencia de su capacidad articuladora de ejes transversales relevantes¹⁰.

La figura 0.7 muestra la localización geográfica del corredor y su división en los 25 tramos descritos.

⁷ De modo excepcional, este ejercicio comparativo no se realiza en el capítulo 6 relativo a los *condicionantes del rendimiento ambiental* de la movilidad urbana, por razones de concreción y alcance de la propia investigación. Para ampliar información conviene leer el apartado 6.2 de ese capítulo.

⁸ Ver apartado 3.3 del capítulo 3, relativo a aplicación del sistema de indicadores de rendimiento ambiental al caso de estudio, conjuntamente con el apartado 4.4 del capítulo 4, relativo a la aplicación de umbrales ambientales al caso de estudio.

⁹ Ver apartado 5.4 del capítulo 5 relativo a estudiar el rendimiento ambiental del corredor para cada *entorno de movilidad* identificado.

¹⁰ Ver apartado 5.3.2.2 del capítulo 5 donde se analiza la influencia de ejes transversales sobre el corredor.

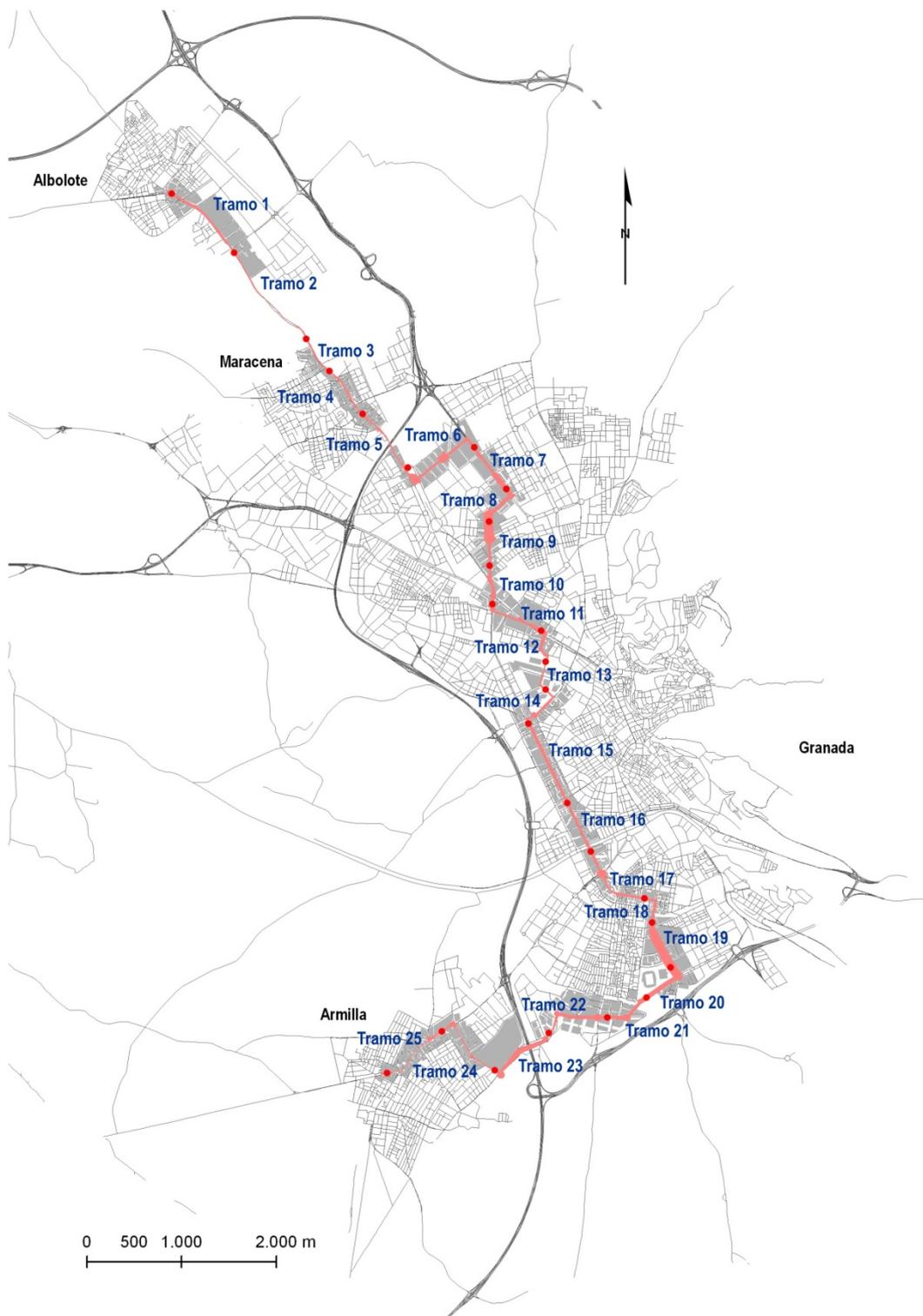


Figura 0.7. Localización geográfica de los 25 tramos en los que se divide el corredor

0.6.2. Evaluación del rendimiento ambiental y definición de umbrales

Tal y como se ha expresado con anterioridad, el concepto *rendimiento* se entiende como aquella medida del funcionamiento de los componentes de un sistema determinado, en este caso la movilidad urbana. Desde este punto de vista, la investigación debe dar respuesta a nivel metodológico a las siguientes cuestiones:

- ¿Cómo caracterizar el rendimiento ambiental en corredores de movilidad como los que conforman el caso de estudio de la investigación?
- ¿Cómo fijar pesos para obtener un valor global o agregado de rendimiento ambiental a partir de los diferentes elementos que lo componen?
- ¿Qué procedimientos usar para establecer umbrales ambientales para cada indicador del sistema de evaluación propuesto?

En respuesta a la primera de las cuestiones planteadas, el capítulo 3 (apartado 3.2) desarrolla a nivel metodológico un modelo conceptual sobre el que diseñar indicadores para evaluar el rendimiento ambiental de la movilidad en el caso de estudio¹¹. Este modelo conceptual puede sintetizarse en los siguientes tres bloques:

- *Uso de energía y otros recursos.* La movilidad como proceso requiere del uso de energía y otros recursos para su funcionamiento.
- *Emisión de residuos.* Considerada la movilidad como proceso ineficiente, es inevitable la liberación al medio de distintos tipos de residuos o desechos.
- *Uso modal viario.* Que tiene que ver con el coste de oportunidad que supone utilizar el espacio viario del corredor prioritariamente a través de modos motorizados, cuando podría ser utilizado a través de modos con menor incidencia ambiental.

Para cada uno de estos bloques son diseñados diferentes indicadores que mostrarán una visión parcial del rendimiento ambiental de la movilidad urbana en cada alternativa¹², a la vez que serán agregados para obtener un valor conjunto de todos ellos, en respuesta a la segunda cuestión arriba planteada.

Precisamente en respuesta a esa segunda cuestión, como método para otorgar pesos ponderados a cada indicador se ha realizado un panel de expertos y de actores locales

¹¹ El diseño del sistema de indicadores mantiene un enfoque próximo a los siguientes trabajos: Peyrebrune (2000), ODOT (2007), López (2007) y Vtrans (2008), donde son seleccionados y diseñados diferentes indicadores de acuerdo a distintos elementos relativos al funcionamiento de la movilidad, a la vez que útiles para la comparación y selección de alternativas (ver apartado 1.3 del capítulo 1 junto con el capítulo 3).

¹² En total el sistema de evaluación propuesto se conforma de 6 indicadores que son: (i) Eficiencia energética de la movilidad urbana; (ii) Eficiencia superficial de la movilidad urbana; (iii) Concentración de PM₁₀; (iv) Emisión de ruido; (v) Coeficiente viario de reparto; (vi) Efecto barrera. Ver apartado 3.2. del capítulo 3.

relacionados con el proyecto de metro ligero planteado en el área metropolitana de Granada. El panel ha estado integrado por 50 participantes distribuidos en los 4 grupos siguientes:

- Planificadores de infraestructuras y movilidad (10 participantes)
- Consultores y especialistas (12 participantes)
- Investigadores (12 participantes)
- Planificadores urbanísticos y ambientales (16 participantes)

Finalmente, respecto de la tercera cuestión planteada, relativa los procedimientos utilizados para establecer umbrales ambientales para cada indicador¹³, conviene destacar que se han utilizado dos procedimientos:

- Para aquellos indicadores cuyos resultados están regulados a nivel normativo, se ha realizado una revisión de las diferentes normativas existentes, adoptando aquellos umbrales más idóneos en función de las características del caso de estudio¹⁴.
- Para aquellos indicadores cuyos resultados no están regulados a nivel normativo, se ha diseñado un método basado en el planteamiento de dos tramos tipo para el corredor, sobre los que se establecen tales umbrales ambientales¹⁵.

0.6.3. La evaluación ambiental desde una dimensión integrada de la estructura urbana y los modos de viaje

Una de las características principales del *modelo de umbrales ambientales* reside en que sus resultados son valorados en base a diferentes unidades espaciales, resultantes de una valoración integrada entre elementos de la estructura urbana y los modos de viaje. Tales unidades espaciales reciben el nombre de *entornos de movilidad*¹⁶. Las principales cuestiones metodológicas son:

¹³ El establecimiento de umbrales ambientales está inspirado en el trabajo *"The Flag Model"* (Nijkamp, 2004) (Deakin *et al.*, 2007), donde se definen diferentes tendencias de sostenibilidad en base a la definición de valores umbrales críticos para cada uno de los factores que integran el proceso de toma de decisión. No obstante, existen diferencias sustanciales con *"The Flag Model"*, especialmente en lo que respecta a la evaluación de la sostenibilidad ambiental, así como, al método utilizado para establecer tales umbrales (ver capítulo 4)

¹⁴ En tres de los seis indicadores propuestos, sus resultados están regulados a nivel normativo: (i) Eficiencia energética de la movilidad urbana; (ii) Concentración de PM₁₀; (iii) Emisión de ruido (ver apartado 4.2.2 del capítulo 4).

¹⁵ En tres de los seis indicadores propuestos, sus resultados no están regulados a nivel normativo: (i) Eficiencia superficial de la movilidad urbana; (ii) Coeficiente viario de reparto; (iii) Efecto barrera (ver apartado 4.2.2 del capítulo 4).

¹⁶ El concepto de *entorno de movilidad* es propuesto en esta investigación como "aquella unidad espacial operativa para la evaluación ambiental de la movilidad urbana, resultante de una valoración integrada de elementos de la estructura urbana y de los modos de viaje" (ver apartado 1.1.3 del capítulo 1, junto con el capítulo 5). Su enfoque es próximo al de otras investigaciones que persiguen la definición de unidades homogéneas a partir de elementos de la estructura urbana y los modos de viaje de cara a la toma de decisiones (Cervero, 2002) (Rodríguez y Joo, 2004) (Fariña y Pozueta, 1998) (Rodríguez *et al.*, 2009)

- ¿Qué dimensiones o elementos de la estructura urbana y de los modos de viaje deben ser abordadas para el caso de estudio de la investigación?
- ¿Cómo poner en relación las medidas de rendimiento ambiental realizadas de cada alternativa con los *entornos de movilidad* resultantes en esta fase del trabajo?

En respuesta a la primera de las cuestiones planteadas, tomando como base a las características particulares del corredor, conjuntamente con las fuentes de información disponibles (ver capítulo 2), se decide abordar la definición de *entornos de movilidad* a partir del estudio de los siguientes elementos del corredor:

En relación con la estructura urbana:

- *Densidad residencial*: como un factor clave a la hora de promover una mayor complejidad urbana que pueda afectar a la necesidad de realizar viajes motorizados.
- *Diversidad e intensidad de actividades urbanas*: analizando la capacidad de los tramos del corredor para ofrecer un abanico de actividades diferentes a sus residentes.
- *Cobertura temporal de actividades*: analizando el nivel de actividad de cada tramo del corredor en diferentes franjas horarias de un mismo día.

Respecto de los modos de viajes en el corredor:

- *Niveles de circulación motorizada*, tanto de automóviles como de autobuses públicos en relación con la intensidad de actividades urbanas del corredor.
- *Influencia de ejes transversales*, relacionada con la capacidad de articulación viaria del corredor y sus principales accesos (motorizados y no motorizados).

En relación con la segunda cuestión planteada, relativa a cómo poner en relación los *entornos de movilidad* resultantes de esta fase del trabajo con las medidas de rendimiento ambiental de cada alternativa, esta cuestión se resuelve a través de las siguientes etapas:

- *Identificar demandas ambientales* de cada *entorno de movilidad* en base a sus características y papel dentro del corredor.
- *Selección de indicadores de rendimiento ambiental* más relevantes para cada *entorno de movilidad* en base a las demandas establecidas.
- *Evaluación comparada de alternativas* para cada *entorno de movilidad* en función de los indicadores seleccionados en cada caso.

0.6.4. Sensibilidad del rendimiento ambiental a factores vinculados a la movilidad urbana

Una de las cuestiones que da fuerza a la idea de evaluar la movilidad urbana desde el punto de vista de su rendimiento ambiental, además de ser de gran utilidad para favorecer el diseño del *modelo de umbrales* como un instrumento proactivo, es la capacidad para determinar qué factores de la movilidad urbana son más influyentes en su rendimiento ambiental. Las principales cuestiones metodológicas a resolver son:

- ¿Qué métodos utilizar para analizar la sensibilidad del rendimiento ambiental a diferentes factores vinculados a la movilidad urbana?
- ¿Qué información derivada de la sensibilidad del rendimiento ambiental es más relevante de cara a posibles usuarios del *modelo de umbrales*?

Respecto de la primera cuestión, se utilizará como método inspirador el de los análisis de sensibilidad que tanto éxito tienen en otros campos de la investigación, como en el ámbito económico o geográfico (Gava *et al*, 2008), especialmente en el caso de modelos basados en técnicas de elección multicriterio (Saltelli *et al*, 1999), donde comúnmente son alterados los diferentes pesos ponderados con el fin de comprobar qué ocurre en la evaluación final de alternativas o escenarios (Gómez y Bosque, 2004) (Baja *et al.*, 2007); (Geneletti y Van Duren, 2008). En este caso particular, se seleccionarán diferentes *factores*¹⁷ vinculados a la movilidad urbana, comprobando como varía el rendimiento ambiental del corredor cuando éstos son alterados desde su valor inicial en una determinada alternativa.

En respuesta a la segunda cuestión planteada, relativa a qué información del análisis de sensibilidad es más relevante de cara a posibles usuarios del *modelo de umbrales*, se ha optado por proponer, desarrollar y aplicar una serie de conceptos cuyos resultados revelen información sobre los siguientes aspectos:

- Qué *factores* tienen una incidencia más positiva o negativa en el rendimiento ambiental de la movilidad, de cara al planteamiento de diferentes alternativas.
- En qué orden de magnitud pueden ser alterados los diferentes *factores* de la movilidad urbana que componen cada alternativa, en cada *entorno de movilidad*.

¹⁷ En la investigación se distinguen dos tipos de factores (ver apartado 6.1 del capítulo 6): (i) *Constantes*, que son aquellos que tienen un mismo valor en cada una de las alternativas a evaluar (por ejemplo: pesos de ponderación para obtener un valor agregado de rendimiento ambiental); (ii) *Variables*, que son diferentes en cada alternativa a evaluar caracterizando a éstas (por ejemplo: flujo modal u ocupación modal de viajeros). Este segundo tipo de factores son los utilizados para analizar la sensibilidad del rendimiento ambiental de cada alternativa.

0.7. Estructura del documento

El trabajo se estructura en torno a 9 capítulos que siguen la lógica de las distintas fases del *modelo de umbrales* recogidas en el apartado 0.2:

- El **capítulo 1** recoge los fundamentos teóricos de la investigación que dan soporte al diseño del *modelo de umbrales ambientales*. Desde este punto de vista, la revisión bibliográfica realizada se articula en torno a tres hitos: (i) Una aproximación a la dimensión ambiental de la movilidad urbana, a través de la definición de unos principios de movilidad urbana sostenibles a los que dar respuesta desde el *modelo de umbrales ambientales*; (ii) La evaluación ambiental de la movilidad urbana, desde el punto de vista de los indicadores utilizados y sus posibles aplicaciones; (iii) Elementos influyentes en la integración ambiental-urbana de sistemas de metro ligero, como consecuencia de las características particulares del caso de estudio de la investigación.
- El **capítulo 2** se centra en explicar las características principales del caso de estudio, haciendo especial énfasis en las fuentes de información utilizadas a lo largo de la investigación y el planteamiento de las distintas alternativas (alternativa S.0 y alternativa S.1) que componen la evaluación.
- El **capítulo 3** aborda la propuesta y desarrollo metodológico del sistema de indicadores para medir el rendimiento ambiental de cada alternativa del corredor. Tras una explicación metodológica de cada uno de los indicadores y de su proceso de agregación en un índice global, el sistema es aplicado a las dos alternativas del caso de estudio, comparando sus resultados en base a 4 bloques estructurantes: (i) Coexistencia modal viaria; (ii) Dotación de espacio público; (iii) Calidad ambiental; (iv) Eficiencia ambiental.
- El **capítulo 4** centra sus contenidos en la propuesta de diferentes procedimientos para estimar umbrales ambientales para cada uno de los indicadores que integran el sistema de evaluación. Para cada indicador son propuestos dos umbrales ambientales: (i) Un umbral crítico de calidad (UCC) y; (ii) Un umbral crítico de impacto (UCI), que sirven para sistematizar los resultados de cada indicador en hasta tres niveles de rendimiento (rendimiento óptimo, rendimiento aceptable y rendimiento negativo) para cada uno de los tramos y alternativas del corredor.
- El **capítulo 5** presenta la definición de *entornos de movilidad* como unidades espaciales sobre las que diagnosticar el rendimiento ambiental del corredor. La primera parte del capítulo se centra en la presentación y aplicación de un proceso metodológico para la identificación y definición de *entornos de movilidad*, para en la segunda parte poner en relación tales *entornos* con los resultados de rendimiento ambiental obtenidos para cada alternativa en capítulos anteriores.

- El **capítulo 6** aborda el estudio de los *condicionantes ambientales*, determinando qué factores vinculados a la movilidad urbana son más influyentes en su rendimiento ambiental. Los resultados de este capítulo estarán basados en la propuesta de diferentes conceptos, que facilitan información sobre la relevancia de distintos factores que componen cada alternativa de cara a su rendimiento ambiental por *entorno de movilidad*.
- El **capítulo 7** sintetiza las distintas fases que integran la aplicación del *modelo de umbrales ambientales*, profundizando en algunas de sus principales utilidades, relacionadas con su capacidad de comparación ambiental, su capacidad de diagnóstico ambiental y su capacidad para orientar la decisión ambiental.
- El **capítulo 8** recoge las principales conclusiones obtenidas a lo largo de la investigación, junto a las vías de progreso principales.
- El **capítulo 9** muestra la introducción y conclusiones de la investigación en lengua inglesa, como requisito para optar al grado de doctor con mención europea.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

ÍNDICE

1.1	Introducción	.....	35
1.2	La movilidad urbana. Una aproximación a su dimensión ambiental	.....	36
1.2.1	Principios para una movilidad urbana sostenible	.....	36
1.2.2	Hacia una planificación ambiental de la movilidad urbana	.....	42
1.2.3	“Entornos de movilidad” como unidades espaciales para la evaluación de la movilidad	.....	47
1.3	La evaluación ambiental de la movilidad urbana	.....	54
1.3.1	Indicadores de sostenibilidad y sistemas de monitorización ambiental	.....	55
1.3.2	Sistemas de evaluación del rendimiento ambiental. Concepto y evolución	.....	59
1.3.3	Aportaciones y particularidades del modelo de umbrales ambientales	.....	64
1.4	La integración ambiental-urbana de los sistemas de metro ligero	.....	66
1.4.1	Características y factores de éxito	.....	66
1.4.2	Los sistemas de metro ligero en el contexto andaluz	.....	73
1.5	Acotaciones teóricas para el desarrollo de un modelo de evaluación de la movilidad urbana basado en umbrales ambientales	.....	77
1.5.1	Acotaciones sobre la dimensión ambiental de la movilidad urbana	.....	77
1.5.2	Acotaciones sobre la evaluación ambiental de la movilidad urbana	.....	78
1.5.3	Acotaciones sobre los sistemas de metro ligero	.....	79

Resumen

El capítulo presenta las bases teóricas que dan soporte a la investigación. Para ello, estructura sus contenidos en torno a tres líneas de fundamentación: (i) *La dimensión ambiental de la movilidad urbana* como argumento de fondo; (ii) *La evaluación ambiental de la movilidad urbana* como argumento motor; (iii) *La integración ambiental-urbana de los sistemas de metro ligero* como argumento de contexto.

Abstract

The chapter presents the theoretical foundations of research. The contents are focused on three discussion topics: (i) The environmental dimension of urban mobility; (ii) The environmental assessment of urban mobility; (iii) The environmental-urban integration of light rail systems.

1.1. Introducción

La respuesta al objetivo central de esta investigación, relativo al desarrollo de un *modelo de evaluación de la movilidad urbana basado en umbrales ambientales*, se fundamenta a nivel teórico sobre tres líneas argumentales:

- a) *la dimensión ambiental de la movilidad urbana* como argumento de fondo sobre el que desarrollar el *modelo* en cuestión, orientando su enfoque dominante a la relación entre estructura urbana y modos de viaje.
- b) *la evaluación ambiental de la movilidad urbana* como argumento motor, a partir de la idea de *rendimiento ambiental* frente a una perspectiva más tradicional, basada en el concepto de *impacto ambiental*.
- c) *La integración ambiental-urbana de los sistemas de metro ligero* como argumento de contexto, ya que el caso práctico de esta investigación está basado en la evaluación ambiental de dos alternativas, cuya diferencia sustancial radica en la implantación de este sistema de transporte público.

Introducidas las líneas principales de fundamentación teórica, el capítulo se estructura en 4 partes directamente relacionadas con éstas. La primera parte realiza una aproximación a la dimensión ambiental de la movilidad urbana, por medio de la identificación de principios para una movilidad urbana sostenible, planteados desde la relación entre estructura urbana y modos de viaje, así como, desde el punto de vista de estudiar y analizar modelos de planificación de la movilidad próximos a una perspectiva ambiental. Esta primera parte permitirá determinar el enfoque dominante de la investigación, junto con los principales aspectos a los que debería dar respuesta el desarrollo de un *modelo de umbrales ambientales*. La segunda parte será de utilidad de cara al diseño metodológico del *modelo*, fundamentalmente para definir un marco operativo de evaluación en torno al concepto de *rendimiento ambiental*. La tercera parte del capítulo contribuirá a orientar el diseño y aplicación del *modelo de umbrales ambientales* al caso particular de la integración ambiental-urbana de sistemas de metro ligero. La cuarta y última parte recoge una descripción de las principales acotaciones de la investigación a nivel teórico, con el fin de situar la dimensión y enfoque final de ésta en base a las tres líneas argumentales planteadas.

1.2 La movilidad urbana. Una aproximación a su dimensión ambiental

Pasar de unos “principios de trabajo para la movilidad urbana” enunciados por Buchanan (1963, p. 44) a unos “principios de movilidad urbana sostenible” recogidos por Banister (2005, p. 17), es hacer referencia a dos hitos relevantes que sirven para acotar a nivel teórico-conceptual, un proceso evolutivo de reflexión, debate y aplicación práctica, encaminado a mejorar y hacer más eficiente la movilidad urbana.

De manera retrospectiva se podría decir, que las demandas ambientales de la movilidad han co-evolucionado con ésta, especialmente como consecuencia de la necesidad de racionalizar el creciente uso del automóvil (Dupuy, 1999) (Newman y Kenworthy, 1999). En este sentido, acotar principios y modelos relacionados con tales demandas ambientales de la movilidad, supone un primer paso para contextualizar esta investigación y establecer su enfoque dominante.

1.2.1 Principios para una movilidad urbana sostenible

El objetivo central de este apartado es culminar con la identificación de unos principios de movilidad urbana sostenible, que sirvan para orientar el diseño del *modelo de umbrales ambientales*.

El punto de partida para definir y adoptar tales principios, pasa necesariamente por entender el transporte -acción de trasladar personas o cosas de un lugar a otro- como un proceso insostenible desde el punto de vista ambiental (Banister, 1996), ya que implica un evidente dispendio de energía y uso de recursos, independiente del origen de éstos (Soria, 1980). Situación que se agrava como consecuencia del incremento en el uso y adquisición de automóviles (ver tabla 1.1).

Tabla 1.1. Índice de motorización por cada 1000 habitantes entre 2000-2005, con proyecciones hasta 2050

Región	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
América del Norte (OCDE)	618	626	636	644	651	659	667	674	682	690	698
Europa (OCDE)	390	417	451	468	483	497	511	525	540	555	570
Pacífico (OCDE)	438	459	477	494	510	527	545	562	581	599	618
FSU	100	108	133	168	212	258	310	340	373	408	447
Europa del Este	201	218	235	304	345	391	440	466	493	522	551
China	13	17	26	37	50	66	86	111	142	181	231
Otros países asiáticos	21	25	29	33	37	46	56	68	82	98	117
India	10	14	17	21	26	30	40	51	66	83	105
Oriente medio	42	45	47	51	57	63	68	74	79	85	91
América Latina	78	87	101	118	136	157	181	209	240	276	317
África	20	23	27	31	34	38	42	46	50	54	58

Fuente: World Business Council for sustainable development. WBCSD (2005)

A diferencia del transporte, la movilidad debe entenderse como un concepto más amplio, orientado esencialmente a los desplazamientos de las personas (Miralles y Cebollada, 2003) (Santos y De las Rivas, 2008) y, por lo tanto, a las diferentes alternativas que posibilitan tales desplazamientos (Cebollada y Miralles, 2004). En palabras de Herce (2010, pp. 51-52), la movilidad hace referencia “a formas autónomas de desplazamiento, oferta de alternativas posibles, así como, gestión del gasto energético y del espacio”. Por esta razón, cabe estudiar la movilidad desde una perspectiva que aborde su tendencia a la sostenibilidad ambiental.

Uno de los efectos principales asociados a la mejora de los medios de transporte y de manera especial al incremento del uso del automóvil, es la “reducción de las distancias”, lo que ha tenido un efecto evidente sobre la movilidad urbana y la configuración de la ciudad, de manera, que es cada vez más común encontrar que en un solo día, los ciudadanos viven en un primer lugar, trabajan en un segundo y realizan sus actividades de ocio y placer en un tercero. Esta situación ha contribuido a la transformación de muchas ciudades y regiones hacia modelos más metropolitanizados y basados en el uso del vehículo privado, favoreciendo la deslocalización territorial de los usos residenciales y del resto de actividades, junto al fomento de un intenso entramado viario articulador de tales espacios (García, 2008) (Curtis *et al*, 2009). En consecuencia, se han fomentado una serie de dinámicas y sinergias entre las nuevas configuraciones territoriales y la cada vez mayor dependencia del automóvil, (Dupuy, 1999) (Newman y Kenworthy, 1999) que han dado lugar a unos patrones de movilidad con elevados costes urbanos, ambientales y sociales (Camagni *et al*, 2000) (Banister, 2005) (Travisi *et al*, 2006) (Geurs *et al*, 2009), demandando el surgimiento de modelos de movilidad más equitativos (Litman, 2003) (Pozueta y Ojauguren, 2005) (Arrington y Cervero, 2008).

En este contexto, hablar de pautas o principios de movilidad urbana sostenible pasa necesariamente por hacer frente a los problemas derivados del creciente uso del automóvil. Bajo esta óptica, la tabla 1.2 recoge diferentes efectos derivados de patrones urbanos con alta dependencia del vehículo privado, agrupados en los 4 bloques siguientes:

- *Impactos ambientales*: especialmente relacionados con el uso ineficiente de energía y espacio, así como, con la generación de residuos tóxicos y ruido, los cuales tienen especial incidencia en la calidad del aire local.
- *Habitabilidad de la ciudad*: derivado de la mayor ocupación de espacio por parte del automóvil, lo que afecta a la propia identidad del espacio urbano, induciendo en muchos casos, una pérdida de vitalidad del mismo, especialmente del viario.
- *Equidad social*: relacionada con la prioridad dada al vehículo privado sobre el resto de modos de transporte y las dificultades que esto supone en aquella población que no puede acceder al uso del automóvil.
- *Eficiencia económica*: que tiene que ver tanto con la realización y mantenimiento de infraestructuras viarias, así como, con los elevados costes económicos de viajar en coche respecto de usar otros modos de transporte.

Tabla 1.2. Consecuencias derivadas de un patrón de movilidad con alta dependencia del vehículo privado

<p>Impactos ambientales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Consumo ineficiente de energía</u> con respecto a los sistemas de transporte público o de movilidad alternativa - <u>Incremento de la emisión de residuos</u> con respecto a los sistemas de transporte público, especialmente relacionados con los gases efecto invernadero (CO₂), gases causantes de Smog (NO_x, CO) y ruido. - <u>Uso ineficiente del espacio metropolitano</u>, que podría estar destinado a otras funciones con mayor sostenibilidad ambiental. 	<p>Habitabilidad de la ciudad:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Contribución a una pérdida de identidad urbana</u>, asociada a espacios con un fuerte carácter residencial, y donde usar el vehículo privado es prácticamente indispensable para la realización de cualquier otro tipo de actividad - <u>Pérdida de vitalidad en la vías urbanas</u>, ya que su diseño en la mayoría de ocasiones está orientado al uso del automóvil y no como lugar de estancia y/o ocio para el peatón.
<p>Equidad social:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Desigualdad en el uso potencial del coche</u>, derivado de que una importante parte de la población no puede tener acceso a un vehículo privado, bien por edad o por poder adquisitivo, y por tanto, viendo reducida su capacidad de viaje. - <u>Desigualdad a través de la localización residencial</u>, ya que en muchos casos los nuevos desarrollos residenciales van asociadas a fuertes lagunas en cuanto a sistemas de movilidad en transporte público o alternativos se refiere. 	<p>Eficiencia económica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Costes infraestructuras</u>: mantener un modelo de movilidad basado en el uso predominante del automóvil supone un importante coste económico en el diseño, realización y mantenimiento de nuevas infraestructuras orientadas a este modo. - <u>Costes de transporte</u>: derivados primero de los mayores costes que supone viajar en coche frente a usar sistemas de transporte público, y en segundo lugar, los derivados de la baja utilización en muchos casos de dichos sistemas de transporte público.

Fuente: adaptado de Newman y Kenworthy (1998); Dupuy (1999)

Antes de definir y comentar los principios de movilidad urbana sostenible sobre los que se articulará el *modelo de umbrales ambientales*, conviene detenerse en el relato de algunos de los hitos desencadenantes del pensamiento ambiental en la movilidad urbana.

Comenzando por los años 60 y a pesar de alguna referencia seminal como el “Informe Buchanan” (1963) en respuesta a las demandas del gobierno Británico, preocupado por el incremento incesante de automóviles y tráfico en sus ciudades, no será hasta la segunda mitad de la década de los 70, especialmente como consecuencia de la crisis del petróleo, cuando el mayor interés por los temas ambientales -derivado de la Conferencia sobre Medio Humano de Estocolmo en 1972-, originen una preocupación real y cada vez más extendida en el ámbito académico e institucional, por los efectos de un modelo de movilidad altamente basado en el automóvil (Banister, 2005). De esta forma, empiezan a proliferar a finales de los 70 y principios de los 80, diferentes referencias bibliográficas que alertan sobre tales cuestiones, a la vez que demandan la necesidad de nuevos enfoques en la planificación y evaluación de la movilidad urbana (Metcalf, 1978) (Adams, 1981) (Burnett y Hanson, 1982) (Dix y Goodwin, 1982) (Owens, 1986). También en el ámbito académico español, aparecen investigaciones que centran sus reflexiones sobre el estudio de la relación entre el transporte urbano y el consumo energético (Barrero y Martínez-Vilanova, 1980), entre viaje y estructura urbana (Fernández *et al.*, 1980) o, finalmente, sobre la necesidad de impulsar un nuevo planteamiento para que la movilidad urbana no sea tan dependiente del coche (Herrero *et al.*, 1980).

Una nueva etapa en esta creciente mirada a los efectos ambientales de la movilidad urbana, tiene lugar a finales de los años 80 coincidiendo con la publicación del informe *“Nuestro Futuro en Común”* (WCED, 1987). Una etapa caracterizada por una mayor concienciación no solo en el ámbito académico (Goodwin *et al.*, 1991) (Banister y Button, 1992) (Breheny y Rookwood, 1993), sino también a nivel institucional, donde destaca el informe *“Transport and Environment”* impulsado por la OECD (1988), en cuyos objetivos se encontraba el establecimiento de un marco de discusión y de impulso de actuaciones orientado a reducir los efectos ambientales de la movilidad urbana. En consonancia, los primeros años de la década de los 90 estuvieron marcados por promover el desarrollo de métodos de análisis y valoración de los problemas ambientales ligados a la movilidad, como se puede ver a través del informe *“Environmental Indicators”* (OECD, 1991). En esta misma línea, el informe *“Sustainable mobility: Green paper on the impact of transport on the environment”* (CEC, 1992a) es el resultado del cuarto programa de acción comunitario por el medio ambiente 1987-1992, donde por primera vez se incluye entre los temas a tratar, aquellos que tienen que ver con las consecuencias ambientales de los sistemas de transporte urbano. En el contexto español, el inicio de la década de los 90 está marcado por la reflexión sobre la necesidad de favorecer una mayor coordinación entre el planeamiento urbanístico y sectorial (Crespo, 1992) (Pozueta, 1992) (Rubio, 1992b), la relación entre movilidad y diseño urbano (Hernandez-Aja, 1992) (Pozueta, 1992a) (Puig-Pley, 1992) y, finalmente, la recuperación del centro histórico de la ciudad para el peatón (Otaola, 1992) (Corral, 1992).

Continuando con la crónica de este proceso evolutivo, que culminará con la descripción de diferentes principios de una movilidad urbana sostenible sobre los que articular el *modelo de umbrales ambientales*, existe en la segunda mitad de los años 90 y la entrada del Siglo XXI, una marcada tendencia por el cambio climático y la eficiencia energética como principales problemas ambiental a resolver desde la movilidad urbana, especialmente a raíz de la cumbre sobre Cambio Climático de Kioto en 1998, reflejada, por ejemplo, a través del informe *“On transport and CO₂. Developing a Community Approach”* (CEC, 1998). Paralelamente, se profundiza sobre distintos enfoques que plantean una nueva planificación de la movilidad que pueda abordar problemas ambientales como los previamente citados, siendo especialmente relevantes para esta investigación, aquellos enfoques basados en el binomio *estructura urbana–modo de viaje* (Breheny, 1997) (Cervero, 1998) (Newman y Kenworthy, 1999) (Banister, 1999), sobre el que descansará en gran medida la selección de principios de movilidad urbana sostenible.

En relación con lo anterior, es el libro *“Unsustainable transport. City Transport in the new Century”* de Banister (2005) aquel que recopila las principales demandas ambientales de la movilidad, a través de la definición de unos principios de movilidad sostenible que serán utilizados como referencia en esta investigación. Tales principios, orientados al caso particular de la movilidad urbana son (Banister, 2005, p. 17):

- a) *Reducir la necesidad de viajar*, especialmente a través de poner en valor el concepto de proximidad y reforzando la identidad de cada espacio urbano.
- b) *Reducción de los viajes en coche*, como paso clave para cambiar las principales tendencias actuales de movilidad urbana.

- c) *Promover modos de viaje más eficientes a nivel energético*, especialmente a través de la implantación de sistemas de transporte público alternativos al automóvil.
- d) *Reducción en la fuente de ruidos y emisiones atmosféricas*, principalmente a través de disminuir el número de viajes, utilizar modos de transporte más eficientes y, finalmente, incorporar las mejoras tecnológicas necesarias y/o posibles.
- e) *Fomentar un comportamiento responsable en la adquisición de automóviles*.
- f) *Incrementar y mejorar la seguridad de los ciudadanos en las vías públicas*
- g) *Incrementar y mejorar el atractivo de la ciudad para peatones, trabajadores, comerciantes y visitantes*, para lo que es fundamental la recuperación de la vía como espacio público no destinado a la movilidad motorizada.

A la vista de los principios identificados en la literatura especializada, conviene apuntar cuáles de ellos son relevantes para esta investigación, así como, la dimensión y orientación con la que serán tratados, de manera que permitan fundamentar y acotar las líneas de trabajo a desarrollar con posterioridad.

De los siete principios enunciados previamente, serán referentes para la investigación aquellos que permiten poner en relación de una forma más directa los conceptos de transporte, modo de viaje y estructura urbana, elementos conceptuales sobre los que se profundiza a lo largo de esta investigación desde su evaluación ambiental, con un enfoque argumental cercano al de autores como Curtis (1995), Cervero y Kockelman (1997), Priemus *et al* (2001), Edwin y Cervero (2001), Bertolini y Clercq (2003), Naess (2006), Cao *et al* (2009), que tratan de evidenciar a partir de los conceptos expuestos, nexos de unión y elementos sinérgicos de relevancia para el impulso de patrones de movilidad con baja dependencia del automóvil y elevada eficiencia ambiental. En vista de las referencias bibliográficas previamente citadas, no serán relevantes en este trabajo ni aquel principio que habla de *“fomentar un comportamiento responsable en la adquisición de automóviles”*, como tampoco, aquel que pone su acento en el hecho de *“incrementar y mejorar la seguridad de los ciudadanos en vías públicas”*. Respecto a este último principio, relativo a incrementar y mejorar la seguridad viaria para los ciudadanos, que de forma tradicional aparece ligado a la evaluación ambiental de la movilidad, generalmente como consecuencia de su vínculo con la eficiencia tecnológica, así como, en representación de la componente social de la movilidad urbana (De Borger *et al.*, 2002) (Diana y Daraio, 2010), carece de interés respecto de la línea argumental de esta investigación por dos razones fundamentales: (i) El trabajo se centra de forma prioritaria en la relación entre transporte, modo de viaje y estructura urbana; (ii) El *modelo de umbrales ambientales* no tiene por objetivo valorar la sostenibilidad desde una visión integral (social, ambiental y económica) donde factores relativos a la seguridad tendrían cabida, sino meramente desde su componente ambiental.

La tabla 1.3 recoge los principales aspectos sobre los que el *modelo de umbrales ambientales* interioriza y da respuesta a los principios de movilidad urbana sostenible descritos.

Tabla 1.3. Características del *modelo de umbrales ambientales* respecto de principios de movilidad urbana sostenible

<p>PRINCIPIOS MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE</p> <p>(Banister, 2005)</p>	<p>MODELO DE UMBRALES AMBIENTALES</p>
<p>Reducir la necesidad de viajar de los ciudadanos</p>	<p>-Identifica lugares con mayor y menor identidad local (Cap. 5)</p> <p>-Determina factores vinculados a una movilidad por proximidad (Cap. 5)</p> <p>-Evalúa y establece límites de coexistencia modal viaria en relación con una movilidad peatonal y alternativa (Cap. 4)</p>
<p>Reducir el número de viajes en coche</p>	<p>-Identifica lugares con mayor idoneidad para reducir los viajes en coche (Cap. 5)</p> <p>-Identifica qué aspectos ambientales están más influenciados por los viajes en coche (Cap. 6)</p> <p>-Identifica hasta qué nivel umbral existe una mejora ambiental efectiva como resultado de reducir los viajes en coche (Cap. 6)</p>
<p>Promocionar modos de viaje con mayor eficiencia ambiental</p>	<p>-Evalúa la incidencia ambiental de diferentes opciones modales (Cap. 3, 4 y 5)</p> <p>-Identifica hasta qué nivel umbral el incremento en la oferta de transporte público es efectivo a nivel ambiental (Cap. 6)</p> <p>-Identifica lugares idóneos para promover equipamientos de intercambio modal (Cap. 5)</p>
<p>Reducir en la fuente la emisión de ruidos y emisiones atmosféricas</p>	<p>-Establece límites umbrales de calidad e impacto de acuerdo a niveles de toxicidad de tales emisiones, bien acústicas o gaseosas (Cap. 4)</p> <p>-Identifica lugares urbanos con mayor sensibilidad a este tipo de emisiones (Cap. 5)</p> <p>-Identifica qué factores de la movilidad tienen mayor incidencia en la emisión de ruidos y emisiones atmosféricas (Cap. 6)</p>
<p>Incrementar el atractivo de la ciudad para peatones, trabajadores, comerciantes y visitantes</p>	<p>-Identifica factores de la movilidad con mayor incidencia sobre la calidad ambiental local (Cap. 6)</p> <p>-Evalúa y establece límites de coexistencia modal en relación con una movilidad peatonal y alternativa (Cap. 4)</p>

Fuente: elaboración propia

1.2.2 Hacia una planificación ambiental de la movilidad urbana.

El título “*urban transportation planning in transition*” (Bertolini *et al*, 2008) sirvió en 2008 para reflexionar en la revista *Transport Policy* sobre algunos de los dilemas y principales tendencias de cara a planificar la movilidad urbana. La mayor parte del núcleo de discusión de ese volumen de la revista coincide con el argumento central de este apartado, donde se trata de poner de manifiesto, las cada vez mayores demandas a las que está sometida la planificación de la movilidad (sociales, urbanas, modales, económicas, tecnológicas, etc.), con especial atención a las demandas ambientales, que exigen modelos de planificación distintos de los tradicionales, tanto en sus enfoques como en sus métodos de aplicación.

El modelo clásico de predicción de la demanda de desplazamientos que ha dominado la toma de decisiones en el ámbito de la planificación de la movilidad, presenta serios problemas para dar respuesta a las exigencias a las que está sometida la movilidad urbana en los últimos años (May *et al*, 2003) (May y Tight, 2006). El origen de los modelos de predicción de la demanda está vinculado a la 2ª mitad del Siglo XX, “precisamente como consecuencia de la relación entre unas redes viarias especializadas y un nuevo modelo de ciudad” (Herce, 2009, p. 68), donde parece oportuno predecir la demanda de desplazamientos, especialmente de aquellos viajes que tienen que ver con la localización de empleos y el nivel de actividad diaria. De esta forma, tiene lugar la aparición de los primeros modelos de predicción del tránsito urbano (Voorhees, 1955).

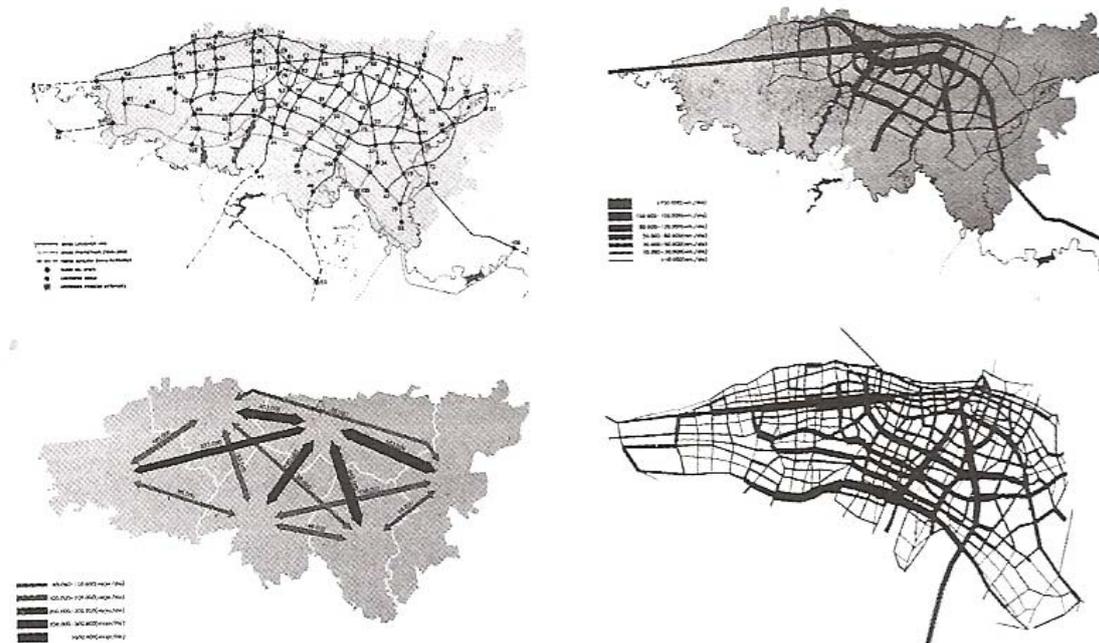


Figura 1.1. Ejemplo de aplicación de modelos de demanda de desplazamientos en la ciudad de Bogotá (1996). Fuente: Herce (2009 p.73)

Los principales problemas de tales modelos de demanda respecto de una perspectiva ambiental o sostenible de la movilidad urbana, residen esencialmente en las siguientes cuestiones (ver tabla 1.4):

- a) Tienen una concepción de la movilidad basada en el desplazamiento y el tiempo de viaje, mientras que una aproximación sostenible de la movilidad de acuerdo a los principios analizados en el apartado anterior, estaría basada en reducir los desplazamientos fortaleciendo la identidad local del espacio urbano, a la vez que priorizando regularidad frente a tiempo de viaje.
- b) Conceptualmente están orientados a los viajes en automóvil, considerando residualmente otros modos de transporte, mientras que una aproximación sostenible de la movilidad, daría prioridad a la oferta de modos de transporte con altas eficiencias en el uso del espacio y de la energía.
- c) Operan sobre el concepto de capacidad de carga máxima de la vía, lo que induce a la propuesta -constante- de nuevos viales, mientras que desde una perspectiva sostenible se incidiría sobre la gestión de las infraestructuras existentes (distribución modal, fiscalidad, gestión de flujos, etc.)
- d) Cuando consideran el transporte público, generalmente lo hacen a partir del tiempo de viaje, sin considerar otros factores determinantes para un exitoso funcionamiento de éste, como por ejemplo, el número y localización de las paradas, frecuencia, puntualidad, etc., claves desde una lógica ambiental de la movilidad urbana.

Tabla 1.4. Comparativa de enfoques de planificación de la movilidad

Aproximación convencional para la planificación de la movilidad urbana	Aproximación basada en principios de movilidad urbana sostenible
Basada principalmente en la ingeniería del transporte	Visión más holística integrando junto con la ingeniería del transporte la planificación territorial y urbanística
Movilidad orientada al tráfico (dimensión física)	Movilidad orientada a los ciudadanos (dimensión social)
Promoción de una movilidad de largo recorrido	Promoción de una movilidad local y especializada
Fomento del diseño de la calle como una carretera	Fomento del diseño de la calle como espacio de estacionamiento y relación social
Evaluación de la accesibilidad en términos de coste-beneficio (ej. ahorro de tiempo)	Evaluación integral de la accesibilidad incorporando parámetros urbanísticos y ambientales (ej. actividades a realizar en un espacio o impactos ambientales respectivamente)
Basado en la predicción de la demanda	Basado en la gestión de la demanda
Centrado en el aumento de la velocidad del tráfico	Centrado en calmar los flujos de tráfico
Basado en la minimización del tiempo de viaje	Basado en tiempos razonables y fiables de viaje
Segregación de tráfico y ciudadanos	Integración de tráfico y ciudadanos

Fuente: elaboración propia a partir de Marshall (2001) y Banister (2008)

Muchos de los problemas planteados en los modelos de demanda, conjuntamente con un incremento de la concienciación ambiental en relación con la movilidad urbana fueron claves, especialmente desde finales de los años 80 y principios de los 90 (Goodwin *et al*, 1991) (May, 1991) (Banister y Button, 1992), en el planteamiento de estrategias y enfoques alternativos

para la planificación y evaluación de la movilidad urbana (Owens, 1995). De este modo, destacan entre tales enfoques alternativos los siguientes:

- *Planificación urbanística*: siendo estrategias que se basan en las relaciones entre transporte y estructura urbana como parámetro de control y gestión de la movilidad. También reciben el nombre de modelos de oferta, ya que en buena medida son concebidos para gestionar la movilidad por medio de controlar la oferta de actividades en la ciudad. Un ejemplo pionero de este tipo de enfoques fue la política ABC holandesa a comienzos de los años 90 (Schwanen *et al.*, 2004).
- *Regulador-fiscal*: importantes a nivel europeo desde 1992 tras es el informe “*The Future Development of The Common Transport Policy: A global approach to the construction of a community framework for sustainable mobility*” (CEC, 1992b). Son medidas destinadas a limitar el número de desplazamientos, especialmente los menos frecuentes o necesarios. Se basan en imputar al viajero el coste total del viaje generalmente mediante un impuesto de circulación. Uno de los ejemplos más destacados en este sentido, es el impuesto de circulación en el centro urbano de Londres (Banister, 2005)
- *Tecnológica*: importante de cara a la evolución de los diferentes sistemas de transporte hacía una mayor eficiencia ambiental. En este sentido, el desarrollo de legislaciones y programas de ayuda para potenciar vehículos de bajas emisiones y promoción de biocombustibles, pueden ser dos ejemplos significativos de cara a alcanzar una movilidad urbana más sostenible.

En base a esta serie de estrategias o enfoques alternativos a modelos basados en la predicción de la demanda, surgen los denominados modelos de gestión de la demanda (May *et al.*, 2003) (Bertolini *et al.*, 2008), que a diferencia de estos primeros, centran sus objetivos en el incremento de la oferta modal, la gestión de las infraestructuras existentes, conjuntamente con la reducción de la necesidad de viajar, de ahí, que se piensen en ellos como los modelos más idóneos para alcanzar una movilidad urbana más sostenible (Litman, 2009). En este contexto, parece esencial introducir en el discurso el concepto de *estrategias integradas de intervención en el transporte y la movilidad*, propuesto durante los 90 en Reino Unido (May *et al.*, 1992) (May y Tight, 2006) (Hull, 2008) como instrumento para promover un cambio en la planificación de la movilidad desde métodos desde *basados en la predicción de la demanda*, insuficientes para dar solución a la mayor parte de los problemas de la movilidad presentes en ese momento, entre ellos los ambientales (Marvin y Guy, 1997), a métodos *basados en la gestión de la demanda*, donde las decisiones sobre la estructura urbana pasan a tener un papel protagonista en la planificación y evaluación de la movilidad (Stead, 2010). Tales estrategias integradas estarían basadas en la integración, búsqueda de sinergias y superación de barreras para la implementación de medidas vinculadas a cada uno de los enfoques alternativos previamente expuestos (May *et al.*, 2003).



Figura 1.2. Estrategias integradas de transporte y movilidad como catalizador entre modelos de predicción y modelos de gestión de la demanda de desplazamientos. Fuente: elaboración propia a partir de May *et al*, 2003

Antes de entrar a valorar las posibles aportaciones del *modelo de umbrales ambientales* en el marco de los modelos de gestión de demanda y el desarrollo de estrategias integradas, conviene destacar que uno de los marcos más apropiados en principio, para la implantación de tales estrategias podrían ser los planes de movilidad urbana sostenible (PMUS) (Monzon y López, 2009). A pesar de su avance pionero en Francia por medio de los “*Plan de déplacements urbains (PDU)*” (CERTU, 1999), es a partir de la aprobación del VI programa de acción por el medio ambiente, donde se insta a los municipios a poner en marcha planes para un transporte urbano sostenible desde el ámbito local. Es así como los diferentes estados miembros ponen en funcionamiento programas para el desarrollo de planes de movilidad urbana inspirados en buena medida en el ejemplo francés. De esta forma, aparecen los “*Local Transport Plans (LTP)*” en Reino Unido, el “*Piano Urbano de Mobilità (PUM)*” en Italia o los ya mencionados “*Planes de movilidad urbana sostenible (PUMS)*” en España.

Centrando la discusión en el caso particular de los planes de movilidad españoles, entre los principales objetivos de tales PUMS se encuentran (DPTOP, 2006) (IDAE, 2006):

- a) facilitar a decisores políticos y técnicos municipales un conocimiento racional del sistema local de transporte.
- b) proponer un conjunto de acciones que permitan coordinar de manera eficiente planes urbanísticos y de transporte con el fin de alcanzar una movilidad más sostenible en el municipio.
- c) fortalecer la oferta modal en el municipio, priorizando sobre modos de transporte público y movilidad alternativa
- d) aprobar un conjunto de medidas a corto y medio plazo en materia de movilidad local, definiendo prioridades y principios de acción.

- e) definir las orientaciones presupuestarias asociadas con las propuestas realizadas para cada modo de transporte, tanto en términos de inversión como de operación.

Más allá de lo adecuado que pueda ser el desarrollo de este tipo de planes para la implantación de tales estrategias integradas de transporte y movilidad, la realidad de éstos en lo que se refiere al caso de las principales Áreas Metropolitanas de Andalucía, dista mucho de ese objetivo, ya que una valoración de los contenidos y propuestas de los planes de cada una de las capitales de dichas áreas, deja ver un bajo nivel de coordinación tanto con planes urbanísticos municipales como con proyectos de movilidad específicos (por ejemplo los sistemas de metro ligero). Además, las medidas y propuestas realizadas por este tipo de planes son mayoritariamente de tipo urbanístico (itinerarios peatonales, relocalización de aparcamientos etc.) y ambientales (restricción de tráfico para desaturación sonora, promoción de carril bici, etc.) (ver figura 1.3), mientras que carecen de medidas de actuación a nivel económico, de gestión y calidad o tecnológicas que interactúen con las anteriores, lo que dificulta una verdadera y eficiente implantación tales estrategias integradas (Serrano, 2009) (Valenzuela *et al.*, 2011)

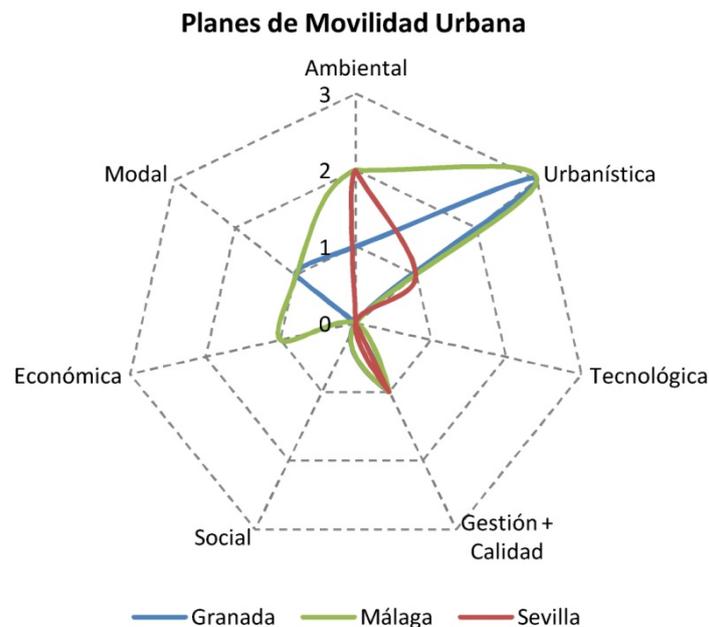


Figura 1.3. Número y tipo de medidas recogidas en planes de movilidad de tres áreas metropolitanas andaluzas. Fuente: Valenzuela *et al.*, 2011

En conclusión, tomando como referencia tales estrategias integradas como mecanismo eficiente para implantar modelos de gestión de la demanda de desplazamientos, en pro de alcanzar una movilidad menos dependiente del vehículo privado y más próxima a cumplir con los principios de movilidad urbana sostenible descritos en el apartado anterior (Givoni y Banister, 2010), conviene acotar la medida en qué la propuesta de un *modelo de evaluación basado en umbrales ambientales* para la movilidad urbana, puede contribuir a una planificación de ésta que tienda a la sostenibilidad ambiental respecto de métodos más convencionales. En relación con lo anterior, el *modelo de umbrales ambientales* puede contribuir al diseño de estrategias integradas en lo que tiene que ver con:

- a) Diseñar un sistema de indicadores de evaluación ambiental de la movilidad en base a los principios de movilidad urbana sostenible previamente descritos.
- b) Establecer valores límite o umbral para las diferentes demandas ambientales de la movilidad en un contexto dado.
- c) Realizar un diagnóstico ambiental a partir de la relación entre transporte y estructura urbana.
- d) Identificar qué factores implicados en la planificación de la movilidad son determinantes para la componente ambiental de ésta.

1.2.3 “Entornos de movilidad” como unidades espaciales para evaluar la movilidad

Tal y como se deriva del enfoque dominante de la investigación, el desarrollo del *modelo de umbrales ambientales* estará fundamentalmente basado en la relación entre estructura urbana y modo de viaje. Muchos han sido los autores que han trabajado en diseccionar los tipos de relaciones existentes entre el modo de viaje y la estructura urbana, principalmente encaminados a descifrar las variables más determinantes de dicha relación, aunque en la mayoría de ocasiones, tales estudios difícilmente cristalizan en la propuesta de conceptos y métodos operativos en la toma de decisiones, de ahí, que pueda parecer fundamental, de cara al desarrollo del *modelo de umbrales*, la identificación de unidades espaciales en base a factores tanto de estructura urbana como del modo de viajes, que hagan operativas de cara a la evaluación ambiental, muchas de las relaciones existentes entre tales factores. Esta investigación propone denominar como *entornos de movilidad* a tales unidades espaciales.

Antes de abordar en qué consiste el concepto de *entorno de movilidad*, qué información puede derivarse de éste, así como, su utilidad para la evaluación ambiental respecto de modelos más tradicionales, es necesario comenzar repasando algunos de los principales estudios que centran sus objetivos en la influencia de la estructura urbana sobre los modos de viaje y cómo esta cuestión puede influir en la elección modal del sistema de transporte, dotación de transporte público, etc.

Desde finales de los años 70 se ha ido forjando una rica y compleja discusión científico-académica en torno precisamente, a la influencia de la estructura urbana sobre el modo de viaje y consecuentemente, sobre la elección del modo de transporte (Naess, 2006). Una discusión creciente en la medida y se han incorporado a ella numerosos estudios empíricos que han intentado establecer cuáles son las relaciones principales y variables más determinantes entre tales factores. En este sentido, la mayor parte de los autores que han realizado estudios en esta dirección, se postulan del lado de un modelo de ciudad compacta como aquel que tiene mejores condiciones de base de cara a promover patrones de movilidad más próximos a la sostenibilidad ambiental (Jenks *et al.*, 1996). El argumento central de esta cuestión reside en gran medida sobre la idea de la densidad urbana, partiendo de la base de que mayores densidades implicarían mayores aprovechamientos de suelo, reducción de la distancia de viajes, así como una mayor intensidad de actividades urbanas, situación que

acabaría reforzando una movilidad más localizada y no tan dependiente de modos motorizados, especialmente del automóvil. A finales de la década de los 90, esta concepción sobre la estructura urbana en relación con factores como la movilidad supuso el eje central del denominado renacimiento urbano ("*urban renaissance*" en voz inglesa) (Rogers, 2005).

Derivado de lo anterior, se podría decir que las interrelaciones entre la estructura urbana y el modo de viaje son complejas, teniendo muchas y diferentes dimensiones (Priemus *et al.*, 2001). De ahí, que sea común encontrar entre las investigaciones consultadas determinados elementos que pueden ser contradictorios o no del todo concordantes. La mayor parte de estas investigaciones podrían ser agrupadas en diferentes grupos de variables de la estructura urbana que se ponen en relación con el patrón de viajes o la elección del modo de transporte. Tales grupos serían:

- a) *El tamaño poblacional del asentamiento*, directamente relacionado con el nivel de trabajos, actividades urbanas, servicios de transporte público, etc. El tamaño poblacional del asentamiento es una de las variables que tradicionalmente ha sido más estudiada en relación con los patrones de viaje y la elección de modos de transporte. De este manera, evidencias en Gran Bretaña durante la década de los 90 pusieron de manifiesto que cuanto mayor es el tamaño poblacional de las áreas urbanas, menor es el consumo de energía derivado de su nivel de movilidad (Spencer y Frost, 1995), situación que años después, aunque con una relación causal menos evidente, fue puesta de manifiesto para otras áreas urbanas europeas a través de Naess (2006).
- b) *Densidad urbana*, comúnmente medida a partir de la población, vivienda o empleos. Tal y como se indicó previamente, la densidad urbana es para muchos autores el parámetro clave en la búsqueda de relaciones de causalidad entre la estructura urbana, el patrón de viaje o la elección del modo de transporte, de ahí que sea el factor que con más recurrencia es analizado por los diferentes autores. Newman y Kenworthy (1999) son los que han logrado manifestar de una forma más evidente la relación entre densidad urbana y niveles de movilidad, demostrando entre una selección de grandes ciudades a nivel mundial, que aquellas que tenían mayores densidades urbanas poseían un menor consumo energético derivado de sus niveles de movilidad (ver figura 1.4). Junto a éstos, otros autores que muestran luces en este sentido son Cervero y Kockelman (1997) o Handy (2002).

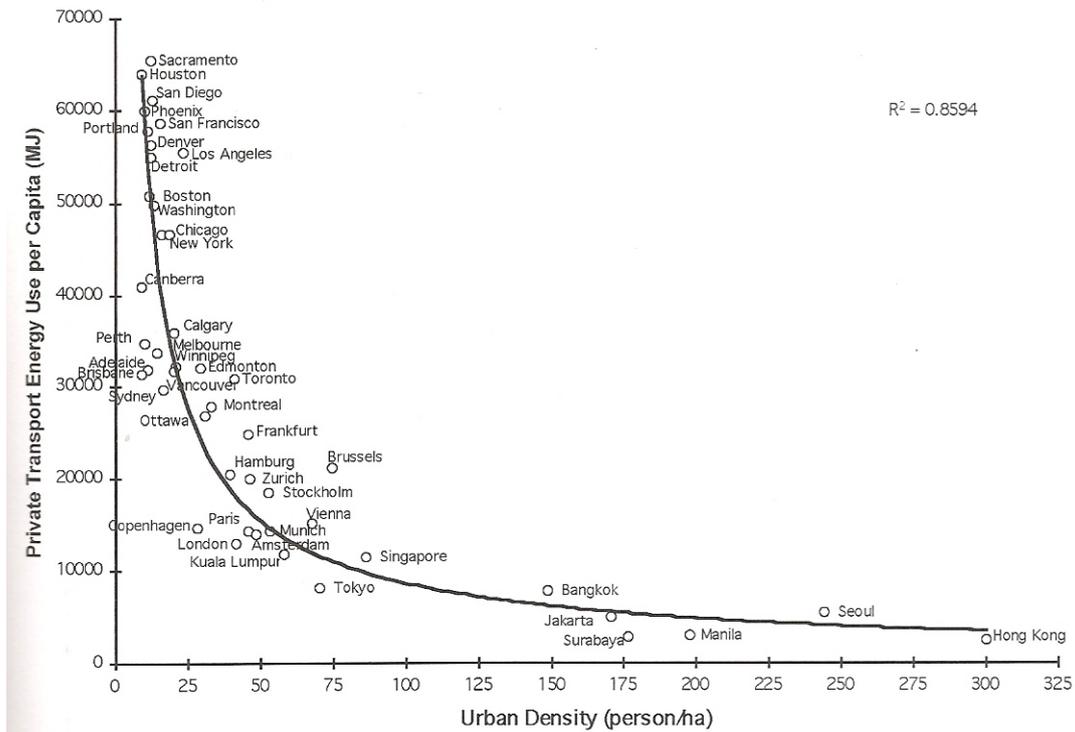


Figura 1.4. Relación entre densidad urbana y consumo energético de la movilidad en algunas de las principales ciudades del mundo. Fuente: Newman y Kenworthy (1999)

- c) *Diversidad urbana*, entendida como el nivel de mezcla de usos y actividades urbanas diferentes. A pesar de algún estudio en la década de los 90 donde no se encontraba relación entre la diversidad urbana y los modos de viaje, los trabajos de Cervero y Kockelman (1997), Cervero (2002), así como, Song y Gerrit-Jan (2004), muestran evidencias significativas de que mayores diversidades urbanas están relacionadas con menores niveles de movilidad motorizada y viceversa.

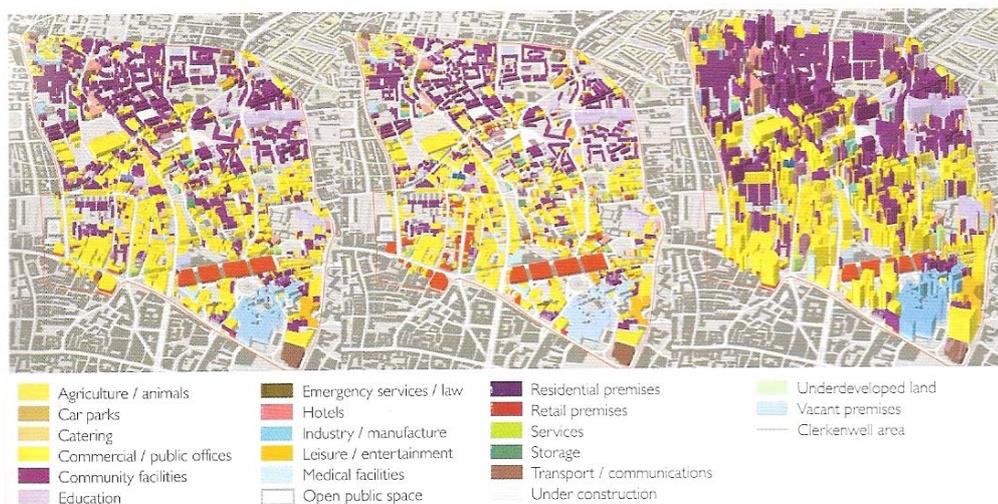


Figura 1.5. Ejemplo de la representación espacial de la diversidad de actividades. Fuente: Cooper *et al*, 2009

- d) *Localización y descentralización de actividades*, donde Winter y Farthing (1997) ponen de manifiesto que la provisión de equipamientos y servicios locales claramente reduce la necesidad de viajar así como la distancia de viaje en las áreas urbanas.
- e) *Accesibilidad local a las infraestructuras de transporte público*. A pesar de algunos estudios previos que encontraban ciertas evidencias entre el uso del transporte público y la accesibilidad local a éste (Cervero, 1994) (Kitamura *et al*, 1997), es Cervero *et al* (2009b) el que pone de manifiesto de una forma más clara, en la ciudad de Bogotá, que altas accesibilidades locales a infraestructuras de transporte público pueden ser determinantes en el nivel de uso de dichos sistemas de transportes.
- f) *Provisión de aparcamientos*. Una de las variables con más influencia sobre la elección de modos de transporte es la provisión de aparcamientos de acuerdo a los estudios de Kitamura *et al* (1997) y Banister (2002), de tal manera que la imputación de altas tasas de aparcamientos o la limitación en el uso de éstos puede ser clave en la consecución de patrones de movilidad más sostenible.

En consecuencia con lo anterior, se podría decir que existe una influencia evidente entre la estructura urbana y consecuentemente, la planificación de tales espacios, sobre el patrón de viajes y la elección del modo de transporte (Edwin and Cervero, 2001) (Cao *et al*, 2009), tales evidencias son las que han promovido diferentes modelos urbanos basados en el mencionado binomio estructura urbana-modo de viaje. Dos ejemplos significativos son el modelo TOD (*transit oriented development*) y el TDA (*transport development areas*). El modelo TOD persigue la integración de usos del suelo y transporte a través de nuevos desarrollos urbanos densos, compactos y con elevada diversidad de actividades en torno a estaciones de transporte público, con el fin de maximizar el efecto de éstas y reducir los viajes en automóvil (Cervero, 2009a p. 23). Algunos ejemplos exitosos del modelo TOD se pueden encontrar en el “*Finger-plan*” de Copenhague (Dinamarca), la “*Island-state’s Constellation*” en Singapur o el Trans-milenio en Bogotá (Colombia) (Curtis *et al*, 2009). El segundo de los modelos nombrados es el TDA (*transport development areas*), que viene a describir la búsqueda de espacios urbanos consolidados con un diseño compacto en cuanto a su densidad y mezcla de usos a partir de los cuáles articular el sistema de transporte público. El modelo TDA constituye una práctica urbana frecuente en Reino Unido desde 1998, contando con ejemplos exitosos en Hampshire, Birmingham, Leicestershire o Sheffield (Reino Unido) (Hine *et al*, 2000).

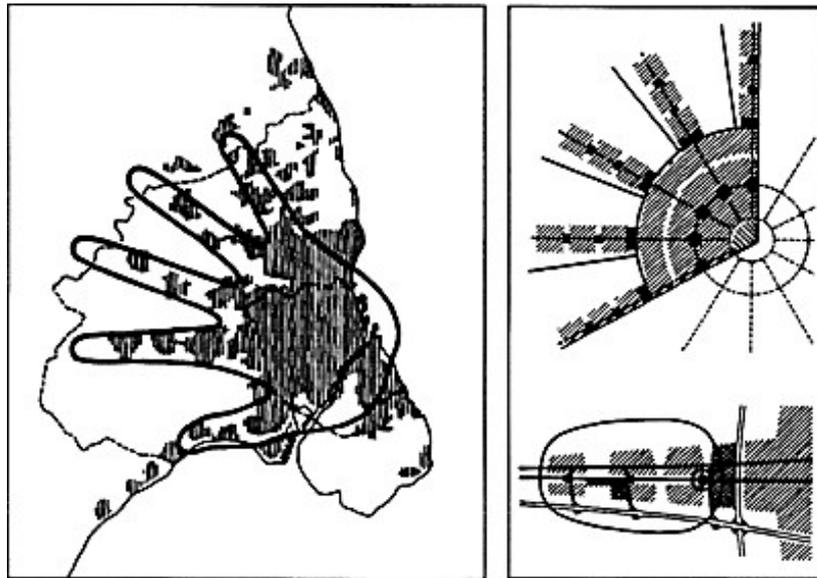


Figura 1.6. Representación esquemática del *Finger-Plan* de Copenhague.

Apoyado sobre algunas de las principales relaciones entre los elementos de la estructura urbana y el modo de viaje, se retoma aquí la línea argumental de este apartado, relativa a la conveniencia de trabajar con unidades espaciales que tengan características comunes en cuanto a estos factores, entendiendo éstas, como unidades funcionales para la evaluación ambiental de la movilidad urbana. A este respecto, conviene apuntar que cada vez es más común encontrar estudios basados en la identificación de unidades espaciales sobre las que articular la toma de decisiones en el campo de la movilidad y el transporte (Fariña y Pozueta, 1998) (Cervero, 2002) (Bertolini y Djist, 2003) (Rodríguez y Joo, 2004) (Rodríguez *et al*, 2009), aunque rara vez, éstas han estado orientadas a la evaluación ambiental de la movilidad.

Entre los ejemplos previamente citados, cabe destacar el trabajo de Cervero (2002) en *Montgomery County*, donde delimita diferentes desarrollos urbanos en base a características comunes de densidad, diversidad y diseño, a partir de las cuales analizar la influencia sobre la elección modal de transporte, aunque todavía más en consonancia con la presente investigación, se encuentra el trabajo de Rodríguez *et al* (2009), que delimita entornos urbanos con un diseño compacto en torno al sistema de autobús público *Transmilenio* en Bogotá (Colombia), con el fin de promocionar medidas que induzcan una mayor movilidad peatonal y en bicicleta en estos lugares. A nivel estatal cabe mencionar la investigación realizada por Fariña y Pozueta (1998) en el Área Metropolitana de Madrid, a través de la identificación y delimitación espacial de patrones de movilidad partiendo de las distintas tipologías edificatorias de su ámbito de estudio. Como último ejemplo, Bertolini y Djist (2003) utilizan el término inglés "*mobility environments*" para destacar la importancia de los espacios articuladores de la movilidad metropolitana en la región del *Randstad* holandés, como paso previo al desarrollo de criterios y conceptos sobre los que orientar la planificación de la movilidad en tales espacios, concluyendo acerca de "la conveniencia de identificar diferentes entornos de movilidad en el contexto urbano y regional para orientar la toma de decisiones" (Bertolini y Djist, 2003 p.40).

Partiendo de las consideraciones anteriores, en esta investigación se utilizará como unidad espacial sobre la que estructurar el funcionamiento del *modelo de umbrales ambientales*, el concepto de **entorno de movilidad**, definido como aquella unidad espacial operativa para la evaluación ambiental, resultante de una valoración integrada de factores de la estructura urbana y del modo de viaje, que pueden aportar información sobre los siguientes cuatro aspectos:

- a) *Espacial*: relacionada con aquellos elementos de la estructura urbana que tienen incidencia sobre el modos de viaje.
- b) *Ambiental*: básicamente relacionada con la forma de optimizar el uso del espacio y la energía.
- c) *Socio-económica*: sobre variables que pueden influir en el comportamiento a la hora de seleccionar determinados modos de transporte.
- d) *Modal*: que tiene que ver con aspectos como la dotación de transporte público, el tráfico privado, rutas peatonales, etc.

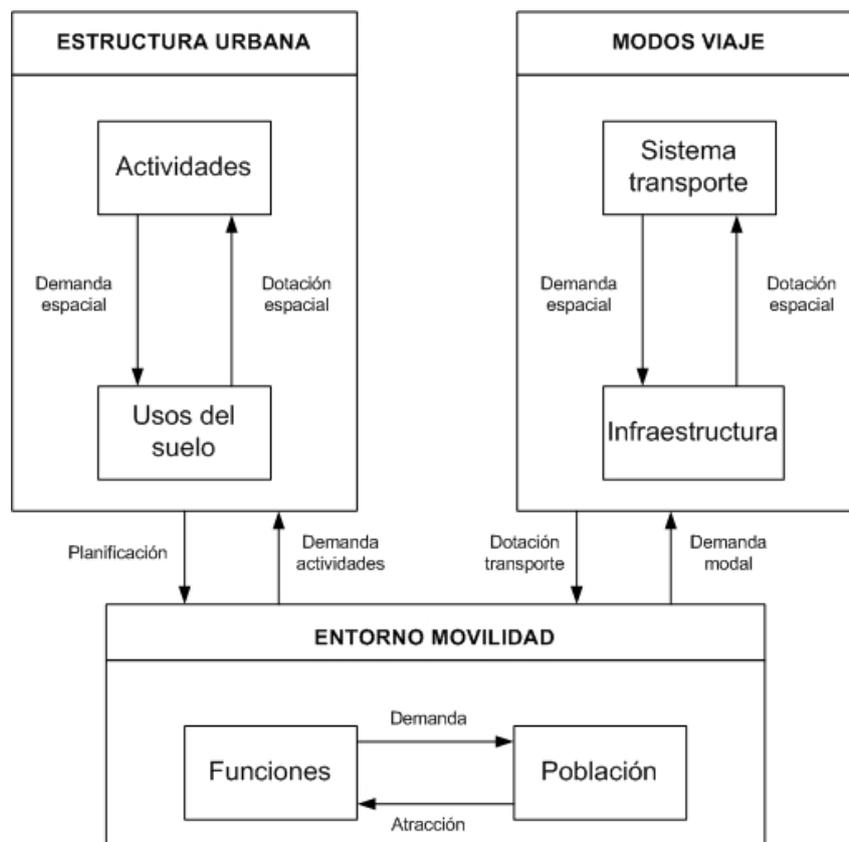


Figura 1.7. Vínculos entre estructura urbana, modos de viaje y entorno de movilidad. Fuente: Modificado de Geurs *et al*, 2000

La utilidad de espacializar los resultados del *modelo de umbrales ambientales* en *entornos de movilidad*, reside esencialmente en las siguientes cuestiones:

- a) Hace que la evaluación ambiental se oriente en base a la relación entre estructura urbana y modo de viaje como enfoque dominante de la investigación.
- b) Permite sintetizar muchas de las principales relaciones de causalidad entre variables de la estructura urbana y del modo de viaje, dando un paso adelante en la definición de conceptos y métodos donde cristalicen tales relaciones cara a la evaluación ambiental de la movilidad urbana.
- c) Sigue los principios de movilidad urbana sostenible seleccionados en el apartado 1.1.1. del presente capítulo.
- d) Fomenta procedimientos de evaluación de la movilidad próximos a modelos de vinculados a la gestión de la demanda de desplazamientos, de modo que sus resultados pueden contribuir al diseño e implementación de estrategias integradas de transporte y movilidad.

1.3 La evaluación ambiental de la movilidad urbana.

Cuestiones relativas a conocer si las propuestas y/o intervenciones que se realizan sobre el sistema urbano están más o menos orientadas a cumplir con un determinado tipo de objetivos, por ejemplo medioambientales, han incrementado notablemente la demanda y uso de métodos destinados a evaluar el posible efecto de éstas.

El caso particular de la movilidad urbana es bastante significativo a este respecto, ya que a diferencia de otras posibles intervenciones en la ciudad, con especial atención a aquellas que tienen un marcado carácter proyectual, donde los efectos ambientales pueden ser más puntuales (por ejemplo la construcción o remodelación de una plaza de barrio), o casi irreversibles (por ejemplo la urbanización de un espacio agrícola), la movilidad urbana tiene características que la hacen especial de cara a evaluar sus consecuencias ambientales:

- a) Constituye un sistema dinámico en constante cambio.
- b) Está condicionada por factores externos, por ejemplo, variables de la estructura urbana (localización de nuevas actividades, servicios, etc.) o socioeconómicos (precios del combustible, ayudas para el transporte público, etc.).
- c) Afecta de forma global al conjunto de la ciudad.
- d) Con la excepción de la construcción de infraestructuras del transporte, sus efectos ambientales mayoritariamente suelen ser reversibles y fluctuantes.

Derivado de lo anterior, desarrollar un sistema para la evaluación ambiental de intervenciones relacionadas con la movilidad urbana, como por ejemplo, la implantación de una nueva línea de transporte público, la reordenación de usos viarios, restricciones de tráfico, etc. exige pensar en métodos que permitan centrar la evaluación de la movilidad más sobre su funcionalidad ambiental y menos sobre las consecuencias proyectuales derivadas. De tal manera que sería más útil evaluar la movilidad en términos de *rendimiento ambiental* y no de *impacto ambiental*.

El *impacto ambiental* en su versión más convencional es considerado como aquella “alteración que introduce una actividad humana en su entorno” (Gómez, 1999, p. 161; 2007), de manera que basado en la relación causal acción-impacto, es de gran utilidad para diseccionar las posibles consecuencia ambientales de un proyecto o plan determinado. El problema se produce cuando se quiere no solo evaluar el plan o el proyecto, sino su funcionamiento, como ocurre por ejemplo en el caso de la movilidad urbana. Para ello, el concepto de *rendimiento ambiental* es más idóneo, pudiendo ser usado para abarcar una visión de diferentes aspectos que podrían ser tenidos en cuenta a la hora de medir cómo funciona un sistema dado (De Borger *et al*, 2002). Algunas de las principales diferencias conceptuales entre *rendimiento* e *impacto* son las siguientes:

- a) Mientras el *impacto ambiental* está orientado a valorar cómo es el cambio que se produce en el entorno (reversible o irreversible, puntual o global, sinérgico o individual, etc.), el *rendimiento ambiental* orienta sus resultados a analizar cómo funciona el sistema (más sostenible o menos sostenible).
- b) Los resultados derivados de medidas de *impacto ambiental* informan sobre el grado de transformación que se produce en el entorno, mientras que los resultados derivados de medidas de *rendimiento* informan en términos de eficacia y eficiencia ambiental.
- c) Las evaluaciones basadas en términos de *impacto* inciden sobre una visión individualizada de los efectos ambientales, mientras que evaluaciones basadas en términos de *rendimiento* inciden en una visión de conjunto.

Partiendo de la idoneidad de dicho concepto de *rendimiento ambiental* de cara a la evaluación de la movilidad urbana, a lo largo de este apartado se realiza una revisión de casos orientada a *sistemas de evaluación del rendimiento ambiental*, con el fin de continuar acotando las principales líneas de trabajo de esta investigación.

1.3.1. Indicadores de sostenibilidad y sistemas de monitorización ambiental

Los indicadores son el principal instrumento sobre el que desarrollar un *sistema de evaluación del rendimiento ambiental* (SERA), de ahí, que parezca oportuno, antes de centrar el discurso sobre tales sistemas de evaluación, sus características, evolución temporal, etc., comentar algunas cuestiones generales vinculadas al desarrollo de indicadores de sostenibilidad en el campo de la movilidad y el transporte.

Valorar si la evolución de un determinado sistema tiende hacia una mayor o menor sostenibilidad, o entender las repercusiones ambientales de una intervención en el medio urbano, han disparado la demanda de indicadores, algo a lo que no es ajeno el campo de la movilidad. Desde este punto de vista, multitud de instituciones públicas y privadas, centros de investigación, etc. han contribuido en los últimos años a diseñar y proporcionar indicadores vinculados a la promoción de una movilidad urbana más sostenible.

Es oportuno señalar algunos ejemplos significativos de diferentes instituciones internacionales, que han promovido el diseño y la difusión de indicadores y sistemas de monitorización relacionados con la sostenibilidad ambiental de sus procesos territoriales, en especial con la movilidad y el transporte. Así, cabe destacar el sistema de indicadores propuesto por la Comisión Europea para monitorizar la Estrategia Europea de Desarrollo Sostenible (consultar en tabla 1.5), incluyendo entre sus ámbitos de evaluación, el transporte y la movilidad, centrándose para ello en aspectos como el consumo de energía, el reparto modal de viajeros y mercancías, o las emisiones de contaminantes atmosféricos (EC, 2009) (EUROSTAT, 2009).

Otro ejemplo destacado es la Agencia Europea de Medio Ambiente, que publica anualmente desde el año 2000 su sistema de indicadores TERM (EEA, 2009), centrándose en monitorizar el sistema de transporte europeo, poniendo acento en la tendencia de éste respecto a determinados objetivos medioambientales (ver tabla 1.5). Otros ejemplos significativos de instituciones internacionales son: Naciones Unidas con su informe *Indicators of Sustainable*

Development. Guidelines and Methodologies (UN, 2007), o la OCDE, tanto con su informe anual sobre el desarrollo sostenible (OECD, 2008a), como también a través de la publicación de guías para la elaboración de indicadores (OECD, 2008b).

Tabla 1.5. Ejemplos de sistemas de monitorización ambiental propuestos por instituciones internacionales

The EU Transport Sustainability Indicators. (EC, 2009; EUROSTAT, 2009)		
Objetivo general: evaluar la estrategia europea de desarrollo sostenible en relación con el transporte		
Bloques temáticos:	Indicadores:	
1. Evolución del transporte	1.1 Reparto modal de los pasajeros 1.2 Reparto modal del transporte de mercancías	1.3 Volumen de mercancías transportado a un precio constante 1.4 Energía consumida por cada modo de transporte
2. Impacto social y medioambiental	2.1 Muertes por accidente de carretera 2.2 Accidentes por carretera según edad	2.3. Emisión de NOx por vehículo
Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) (EEA, 2009)		
Objetivo general: monitorizar la evolución de los transportes en el marco de la UE, especialmente en lo relacionado con sus efectos medioambientales		
Bloques temáticos:	Indicadores:	
1. Consecuencias ambientales del transporte	1.1 Consumo de energía 1.2 Emisión de COx y NOx 1.3 Emisión de contaminantes atmosféricos (SOx PM) 1.4 Porcentaje de población expuesta a niveles altos de ruido 1.5 Fragmentación de ecosistemas y hábitats 1.6 Población expuesta a una mala calidad del aire	1.7 Suelo ocupado por cada modo de transporte 1.8 Contaminación por accidentes de cada modo 1.9 Desastres marítimos ilegales 1.10 Descargas accidentales de fuel en el mar 1.11 Residuos derivados de las carreteras
2. Demanda del transporte	2.1 Reparto modal de los pasajeros	2.2 Reparto modal del transporte de mercancías
3. Accesibilidad y ordenación del territorio	3.2 Acceso a equipamientos y servicios públicos	
4. Prestaciones de las infraestructuras del transporte	4.1 Capacidad de las infraestructuras según modo	4.2 inversiones en infraestructuras per cápita
5. Costes del transporte	5.1 Cambios de modo de transporte por la población 5.2 Precios del combustible 5.3 Total de costes externo por pasajero y modo	5.4 Implementación de internalización de costes 5.5 Nivel de subsidios 5.6 Gastos en personal
6. Tecnología y eficiencia	6.1 Eficiencia energética por persona y Km 6.2 Eficiencia de las emisiones por persona y Km 6.3 Ratios de ocupación por modo de transporte 6.4 Adopción de combustibles más limpios	6.5 Sistemas de carga en el transporte de mercancías 6.6 Tamaño de los vehículos de transporte público 6.7 Edad de los vehículos de transporte público 6.8 Proporción de vehículos con tasas de ruido elevadas
7. Gestión integrada	7.1 Número de estados miembros con gestión integrada 7.2 Estados con departamentos temáticos coordinados 7.3 Estados con sistemas de monitorización ambiental	7.4 Adopción de estrategias de evaluación ambiental 7.5 Sensibilización del público y comportamiento 7.6 Adopción de sistemas de gestión ambiental en transporte

Fuente: elaboración propia a partir de EUROSTAT, 2009 y EEA, 2009

Además de los informes mencionados relativos a instituciones oficiales, numerosos proyectos y centros de investigación ponen su acento en trabajar el diseño de indicadores capaces de monitorizar y medir los efectos ambientales derivados de la movilidad. Son notables los trabajos realizados en el *Victoria Transport Policy Institute* (www.vtpi.org), orientados a establecer un esquema metodológico para el diseño de tales indicadores, al tiempo que proponen un amplio listado de éstos por temáticas y objetivos (Litman, 2009). Otro marco de referencia a considerar deriva de la *COST ACTION EST-356 Towards the definition of a measurable environmentally sustainable transport*, cuyo informe final (Joumard y Gudmonsson, 2010), además de proponer un importante listado de indicadores ambientales, incide sobre cuestiones metodológicas relacionadas con el diseño de éstos respecto de su utilidad para la toma de decisiones. Conjuntamente con los dos referentes citados, otras investigaciones relevantes por su pretensión de diseñar indicadores para monitorizar el nivel de sostenibilidad de la movilidad y el transporte desde una perspectiva social, económica y ambiental, son los trabajos de Ahvenharju (2004), Borke (2002) o Kenworthy (2008).

Las ventajas o aspectos positivos de los trabajos previamente citados, en especial de aquellos vinculados a sistemas de monitorización ambiental, son en muchos casos incuestionables en cuanto a su constante innovación tanto en la creación de indicadores de sostenibilidad, como en el desarrollo de una riqueza teórica y metodológica, capaz de generar instrumentos de seguimiento cada vez más precisos respecto al grado de afección ambiental de cuestiones territoriales y urbanas complejas. Ahora bien, algunas desventajas de dicha capacidad de monitorización estarían relacionadas con sus limitaciones a la hora de valorar intervenciones específicas sobre el medio urbano, ya que sus resultados están más vinculados a la identificación de grandes tendencias. Para informar sobre lo segundo, sería necesaria una secuencia temporal de información que en muchos casos no está disponible, además de que en bastantes ocasiones los indicadores propuestos son excesivamente genéricos y alejados del contexto espacial donde deberían aplicarse con cierto grado de especificidad.

En consecuencia, conviene aclarar que resulta evidente la existencia de diferencias sustanciales entre las características que componen un sistema de monitorización como los arriba descritos, respecto de un sistema de evaluación del rendimiento ambiental. Algunas de las diferencias más destacadas residen en que mientras un sistema de monitorización tiene como prioridad realizar el seguimiento de procesos y dinámicas, un sistema de evaluación del rendimiento debería estar centrado en evaluar diferentes propuestas y alternativas sobre una determinada cuestión, por ello, tales sistemas de evaluación del rendimiento suelen estar vinculados a un plan, programa o proyecto específico mientras que un sistema de monitorización puede funcionar de forma autónoma a éstos. De esta manera, mientras los resultados de un sistema de monitorización son idóneos para realizar un diagnóstico y proponer actuaciones, los resultados de un sistema de rendimiento informan sobre compensaciones entre actuaciones y propuestas diferentes, siendo de gran utilidad para la selección de alternativas (ver tabla 1.6).

Tabla 1.6. Sistemas de evaluación del rendimiento y sistemas de monitorización. Comparación de características

<i>Sistemas de Evaluación del rendimiento</i>	<i>Sistemas de Monitorización</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Evalúa actuaciones, propuestas, etc. - Son puntuales - Vinculados a estrategias, programas, planes o proyectos - Específicos, ad hoc - Los Resultados informan sobre compensaciones entre actuaciones -Útiles para seleccionar actuaciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Realiza seguimiento - Secuencia temporal -No necesariamente vinculados a estrategias, programas, planes o proyectos -Globales, genéricos -Los resultados informan sobre tendencias, dinámicas y procesos -Útiles para proponer actuaciones

Fuente: elaboración propia

1.3.2. *Sistemas de evaluación del rendimiento ambiental. Concepto y evolución*

Genéricamente, el concepto *rendimiento* permite la visión de diferentes aspectos que podrían ser tenidos en cuenta a la hora de evaluar el funcionamiento de un determinado sistema, por ejemplo la movilidad. De esta manera, un sistema de evaluación del rendimiento podría definirse como la medida cualitativa o cuantitativa del funcionamiento de un sistema dado y sus posibles modificaciones (De Borger *et al*, 2002).

Considerando la naturaleza de la definición mostrada, este modelo de evaluación debería facilitar información de utilidad sobre las variaciones en el *rendimiento ambiental* de un determinado sistema en base a posibles modificaciones realizadas sobre éste, por lo que puede ser una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones en el contexto urbano y de la movilidad, de ahí, que haya sido seleccionado como modelo idóneo para el desarrollo de instrumentos de evaluación ambiental en esta investigación.

Medir el rendimiento de la movilidad y en particular de los sistemas de transporte público, ha sido objeto de una intensa actividad científica desde finales desde los años 80 hasta nuestros días (Diana y Daraio, 2010), basándose inicialmente y a nivel conceptual en la contribución seminal de Farrell (1957) sobre las medidas de eficiencia productiva y, en particular, sobre las “técnicas de estimación de frontera”, las cuales se centran en distinguir procesos eficientes de ineficientes, estimando un nivel o grado de ineficiencia determinado (Brons *et al.*, 2005). En este sentido, podría identificarse un primer tipo de sistemas de evaluación del rendimiento del transporte público orientados a la eficiencia tecnológica y económica (De Borger *et al.*, 2002), cuyos objetivos de evaluación estaban centrados en cubrir mayoritariamente los siguientes aspectos (Diana y Daraio, 2010): (i) eficiencia técnica; (ii) uso de recursos y nivel de servicio; (iii) intensidad de uso del servicio; (iv) dimensión relativa del servicio; (v) cobertura del servicio; (vi) capacidad de penetración en el mercado; (vii) generación de ingresos (viii) externalidades económicas.

A partir de la década de los 90, el concepto de evaluación del rendimiento de la movilidad y el transporte comenzó a abarcar un contexto más amplio que el previamente expuesto. La utilidad de estos sistemas de evaluación a la hora de tomar decisiones sobre la viabilidad de diferentes tipos de alternativas extendió su uso, por ejemplo, en aspectos relacionados con planes de infraestructuras, sistema de transportes o en relación con objetivos vinculados a la sostenibilidad ambiental. En muchas ocasiones, tales sistemas de evaluación han sido apoyados desde agencias gubernamentales como es el caso de Estados Unidos, gran impulsor de estos sistemas de evaluación y decisión, especialmente como consecuencia en 1993 de la adopción de la *Government Performance and Results Act* (Gudmundsson, 2001).

En relación con lo anterior, la tabla 1.7 muestra dos ejemplos significativos para esta investigación, de sistemas de evaluación del rendimiento en el ámbito de la movilidad y el transporte por diferentes motivos. El primer ejemplo, hace referencia a un sistema de evaluación del rendimiento desarrollado para el caso específico del sistema de transporte alemán, propuesto por Gerike *et al* (2010) y aplicado entre los años 1990 y 2008. Destaca de este trabajo su marcado carácter ambiental respecto de otros casos estudiados, donde a pesar de no estar centrado en el caso específico de la movilidad urbana, se ocupa de evaluar aspectos relevantes para ésta, como por ejemplo, el consumo energético y de recursos, conjuntamente con la contribución de la movilidad a la contaminación atmosférica local (salud humana), desde un enfoque cercano al de esta investigación. El segundo de los ejemplos recopilados en la tabla 1.7 es la propuesta de un sistema de evaluación del rendimiento elaborado por López (2007) para el Plan Estratégico de Infraestructuras del Transporte en España (2005-2010). Destaca de este segundo caso, su método de aplicación, ya que el sistema es utilizado para seleccionar entre diferentes alternativas del plan, aquellas con mejores resultados en relación a criterios de cohesión, eficiencia del plan y sostenibilidad ambiental, siendo un método de aplicación que sigue una lógica muy similar a la de este trabajo.

Otros ejemplos de sistemas de evaluación del rendimiento en movilidad y transporte que se ocupan igualmente de objetivos relacionados con la sostenibilidad ambiental son el *KPI system (Key Performance Indicators)* propuesto por Ricci *et al* (2010) y aplicado a la eficiencia del transporte en las ciudades de Londres y París. También es importante destacar el *STPI Project (sustainable transportation performance indicators project)*, que liderado por el *Centre for Sustainable Transportation* en Canadá tiene como objetivo la generación de diferentes sistemas de evaluación del rendimiento de planes de infraestructuras, así como, para sistemas de transporte público y privado (Miller, 2002), o finalmente, el *transport sustainability performance* elaborado por el JRC (Dobranskyte, 2007) cuyo objetivo es evaluar el rendimiento ambiental de los diferentes sistemas y programas de movilidad y transporte en la Unión Europea.

Tabla 1.7. Ejemplos de sistemas de evaluación del rendimiento de planes de transporte e infraestructuras

TEX. Environmental performance index for the German transport system (Regine et al, 2010)	
Objetivo general: evaluar los impactos ambientales generados por el sistema de transporte alemán	
Objetivos específicos:	Indicadores:
1. Impactos sobre el consumo de energía	1.1 MJ consumidos por cada modo de transporte
2. Impactos sobre el consumo de recursos	2.1 Toneladas de materias primas usadas por cada modo de transporte
3. Contribución al efecto invernadero	3.1 Toneladas de CO2 equivalente por cada modo de transporte
4. Impactos sobre la capa de Ozono	4.1 Emisión de precursores de Ozono por cada modo de transporte
5. Contribución a la contaminación atmosférica	5.1 Acidificación en toneladas de SO2 eq. por cada modo de transporte
6. Impactos sobre el uso del suelo	6.1 Suelo ocupado por infraestructuras del transporte en Km2
7. Seguridad del sistema de transporte	7.1 Costes monetarios de los accidentes por cada modo de transporte
8. Impactos sobre el nivel de ruido	8.1 Niveles de exposición al ruido en torno a cada infraestructura de transporte
9. Efectos sobre la salud Humana	9.1 Niveles de toxicidad en toneladas de 1-4 Diclorobenceno 9.2 Partículas sólidas en toneladas de PM10
Performance Indicators to assess the PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras del Transporte en España. 2005 - 2010) (López, 2007)	
Objetivo general: evaluar diferentes aspectos relacionados con el plan estratégico de infraestructuras del transporte en España. PEIT (2005-2010)	
Objetivos específicos:	Indicadores:
1. Eficiencia del plan	1.1 Eficiencia de la accesibilidad de la red de infraestructuras 1.2 Integración transfronteriza de la red de infraestructuras atendiendo a regiones próximas
2. Fomento de la cohesión	2.1 Fomento de la cohesión regional a través del plan 2.2 Fomento de la cohesión social por el plan
3. Sostenibilidad ambiental	3.1 Fomento el cambio climático en toneladas equivalentes de CO2 3.2 Fragmentación de hábitat a través de la relación área/perímetro de espacios protegidos por la Directiva Habitats.

Fuente : elaboración propia a partir de las fuentes citadas

Continuando con la revisión orientada a sistemas de evaluación de la movilidad urbana, conviene detenerse en algunos ejemplos más, que son representativos para ese trabajo en lo que tiene que ver con su ámbito de aplicación. Dado que el caso práctico de la investigación se desarrolla sobre un corredor de movilidad en el Área Metropolitana de Granada, es necesario destacar a nivel internacional, diferentes experiencias que ponen su acento en la evaluación del rendimiento de vías urbanas (ver tabla 1.8).

Aunque con enfoques diferentes al sistema de evaluación que se desarrolla y aplica en este trabajo, especialmente en lo que tiene que ver con sus objetivos y bloques de evaluación, son referentes para éste en cuanto a los mecanismos de evaluación utilizados –generalmente basados en el diseño y combinación de indicadores de *rendimiento ambiental*–, así como en su enfoque aplicado y vocación operativa, el modelo propuesto en el *Oregon Department of Transportation (ODOT)* (ODOT, 2007), basado en el diseño de indicadores de *rendimiento ambiental* de vías urbanas en lo que concierne a la movilidad no motorizada y la calidad ambiental de la propia vía. Otro ejemplo relevante en los términos expuestos, es el modelo de evaluación de la calidad de vías urbanas para la movilidad peatonal y en bicicleta propuesto por el *Vermont Department of Transportation (VTTrans)*. Finalmente, el modelo de evaluación del rendimiento ambiental de la movilidad pública en vías urbanas desarrollado en el *Florida Department of Transportation (FLDOT)* (Peyrebrune, 2000) es bastante similar al propuesto en este trabajo respecto de considerar factores de la estructura urbana como elementos influyentes sobre la evaluación del *rendimiento ambiental*.

Tabla 1.8. Ejemplos de sistemas de evaluación del rendimiento de la movilidad en vías urbanas

ODOT. The Oregon department of transportation	
Objetivo General: diseña indicadores de rendimiento de arterias urbanas en lo que concierne a la movilidad no motorizada y la calidad de vida	
Objetivos específicos:	Indicadores de rendimiento:
1. Mejorar la seguridad de los viajes no motorizados	1.1 VAT. Lesiones por cada 100 mill. Vehículos circulados 1.2 Porcentaje de población satisfecha con la seguridad en el transporte
2. Trasladar a la población y bienes eficientemente	2.1 Horas de retraso por persona y año en áreas urbanas 2.2 Porcentaje de commuters en horas punta en relación con la ocupación media de vehículos
3. Proveer un sistema de transporte que revitalice la actividad económica en Oregón	3.1 Porcentaje de millas de carreteras con carril y aceras en buenas condiciones o en mejora
Vtrans. Vermont department of transportation	
Objetivo General: diseña indicadores de rendimiento relacionados con la movilidad peatonal y en bicicleta en vías urbanas	
Objetivos específicos:	Indicadores de rendimiento:
1. Generación de ambiente cultural	1.1 Millas de aceras 1.2 Millas de uso compartido entre peatón y bicicleta
2. Promoción de nueva vitalidad económica y mejora del medio ambiente natural	2.1 Promedio de minutos al día por ciudadano caminando o montando en bicicleta 2.2 Tasa de cambio en commuters en el uso de modo motorizado a no motorizado 2.3 Número promedio de peatones y ciclistas en determinadas vías urbanas
3. Mejora de la salud ciudadana	3.1 Tasa de cambio en niños del colegio en el uso de medios motorizados a no motorizados
4. Mejora de la seguridad	4.1 Accidentes peatonales y en bicicleta entre el tiempo invertido en estas actividades
5. Transición en la elección del modo de transporte	5.1 Millas de vías exclusivamente peatonales 5.2 Millas de vías exclusivamente peatonales y para bicicleta 5.3 Número de personas implicadas en difundir una transición en la elección del transporte 5.4 Estudiantes que participan en programas de educación para la movilidad
FLDOT. Florida department of transportation	
Objetivo General: diseña indicadores de rendimiento relacionados con la movilidad pública ofertada, su calidad, accesibilidad y uso por parte de los ciudadanos	
Objetivos específicos:	Indicadores de rendimiento:
1. Relacionados con la oferta	1.1 Población transportada 1.2 Viajes dados por población transportada
2. Mejora de la calidad	2.1 Velocidad promedio de cada viajero 2.2 Tiempo de viaje promedio puerta a puerta 2.3 Fiabilidad (varianza entre el promedio de viaje y la velocidad)
3. Mejora de la Accesibilidad	3.1 Conectividad con estaciones intermodales 3.2 Proximidad de las viviendas 3.3 Proximidad del empleo 3.4 Porcentaje de Km de bicicleta con preferencia de paso 3.5 Porcentaje de espacio de la vía destinado al peatón

1.3.3. Aportaciones y particularidades del modelo de umbrales ambientales

A la vista de los diferentes sistemas de evaluación previamente descritos, conviene apuntar las principales semejanzas y diferencias respecto del *modelo de umbrales ambientales* que se desarrolla en esta investigación. Situación que ayudará a identificar las principales aportaciones del trabajo respecto a este campo, así como los aspectos que tienen en común.

En términos generales, se puede identificar un patrón común para todos los casos estudiados que responde a la existencia de 4 componentes esenciales (Litman 2009):

- a) *Estrategia, plan o proyecto*, sobre los que evalúan sus efectos de implantación o bien posibles modificaciones sobre aquellos que ya están implantados.
- b) *Objetivos específicos del sistema*, relacionados con aspectos urbanos, ambientales, sociales, económicos, etc. Donde suelen ser identificados posibles compensaciones y perjuicios de la implantación de una u otra alternativa, o de un plan/proyecto determinado.
- c) *Indicadores de rendimiento*, que bien cualitativos o cuantitativos permiten medir los objetivos específicos señalados en el punto anterior.
- d) *Resultados*, que en muchos casos pueden ser parciales para cada indicador o agregados formando un índice global.

De acuerdo a la síntesis de características para cada sistema de evaluación recogidas en la tabla 1.9, se puede ver como la mayoría de ellos están asociados a un determinado plan, programa o proyecto sobre el que evalúan el rendimiento de la movilidad, de los cuales un número importante, con excepción del *TEX performance*, *KPI performance* y *TPS system* están centrados en la evaluación y selección de alternativas posibles, rasgo en común con el *modelo de umbrales* que desarrolla esta investigación. También en la tabla 1.9 se puede comprobar que con excepción del *KPI system*, los resultados obtenidos en todos los sistemas consultados están muy orientados a extraer lecturas parciales sobre bloques de interés de cara a la movilidad, mientras que 5 de los 8 casos expuestos concluyen sus resultados a partir de la extracción de un índice sintético final, entre ellos, destaca el *TEX performance*. Finalmente, indicar que aunque todos o la mayoría de sistemas consultados ponen su acento sobre temas ambientales de la movilidad, solamente tres, el *TEX performance*, *TSP system* y *PLDOT performance* presentan contenidos basados sobre algunos de los principios de movilidad sostenible recogidos en el apartado anterior de este capítulo.

Tabla 1.9. Rasgos fundamentales de los sistemas de evaluación estudiados

Sistemas de evaluación		Características				
Nombre	Autor	Vinculado Plan, proyecto, Etc.	Selecciona alternativas	Permite lecturas por bloques relevancia	Permite lecturas globales	Basado en principios de movilidad sostenible
TEX performance	Gerike <i>et al</i> (2010)	●		●	●	●
PEIT system	López, (2007)	●	●	●	●	
KPI system	Ricci <i>et al</i> (2007)	●			●	
STPI proyect	Miller <i>et al</i> (2007)	●	●	●		
TSP system	EU (2007)	●		●	●	●
ODOT performance	(ODOT, 2007)	●	●	●		
Vtrans performance	(Vtrans, 2008)	●	●	●		
PLDOT performance	(Perybrune, 2000)	●	●	●	●	●

Fuente: elaboración propia

En vista de la comparación realizada, es necesario indicar que el *modelo de umbrales ambientales* comparte cada uno de los 4 aspectos señalados previamente, a la vez que pretende cumplir con cada una de las características recogidas en la tabla 1.9. De esta forma, las principales aportaciones o cambios más significativos del *modelo* son:

- a) Al igual que la mayoría de los casos anteriores aborda la evaluación de la movilidad desde una lógica orientada a la sostenibilidad ambiental, pero a diferencia de éstos, su diseño no solo está inspirado en los principios de movilidad urbana sostenible previamente descritos, sino que busca que los resultados obtenidos pongan de manifiesto si tales principios se cumplen o no se cumplen.
- b) Como en la mayoría de los sistemas de evaluación del rendimiento, el modelo que se presenta en esta investigación es de gran utilidad para la comparación y selección de alternativas, pero no solo porque indique qué alternativa tiene una tendencia más o menos sostenible, como ocurre en los casos consultados, sino porque basa su diseño sobre la identificación de umbrales ambientales, capaces de mostrar cuánto de efectivas a nivel ambiental son las diferencias entre una alternativa y otra.
- c) Aborda la evaluación del *rendimiento ambiental* de la movilidad desde una perspectiva integrada entre factores asociados a la estructura urbana y los modos de viaje, a partir esencialmente del concepto de *entorno de movilidad*.
- d) Dado el enfoque dominante de la investigación, tal y como ya se indicó en el apartado anterior de este capítulo, se prescinde de incorporar en el sistema de evaluación elementos relativos a seguridad de la movilidad y el transporte

- e) A diferencia del carácter preventivo o incluso de seguimiento de la mayoría de los casos estudiados, el *modelo de umbrales ambientales* parte de una perspectiva proactiva de cara al proceso de toma de decisiones en el campo de la movilidad, en la medida y sus resultados informan sobre qué factores de las alternativas consideradas son más determinantes para alcanzar determinados niveles de rendimiento ambiental

1.4. La integración ambiental-urbana de los sistemas de metro ligero

El caso práctico de la investigación se basa en la evaluación ambiental de diferentes alternativas en un corredor de movilidad urbana en el Área Metropolitana de Granada, donde se ha propuesto la implantación de un sistema de metro ligero (ver capítulo 2). Por esta razón, es necesario incluir entre las líneas de fundamentación de este trabajo, a tales sistemas de transporte público desde el punto de vista de su integración ambiental-urbana, ya que tanto la evaluación que se realiza, como los aspectos a considerar en ella, estarán mediatizados por esta cuestión.

1.4.1. Características y factores de éxito

Es difícil encontrar en la literatura especializada una definición unánime sobre qué es un sistema de metro ligero. En la mayor parte de los casos, dicha definición se encuentra localizada en el triángulo delimitado por el tranvía, el tren y el metro pesado (Priemus y Konings, 2001). De esta forma, el metro ligero podría ser definido como un “modo de transporte de tracción eléctrica con plataforma reservada respecto de otros modos, aunque con posibilidad de interferencias y cruces a nivel” (Zamorano *et al*, 2007, p. 36). Por capacidad, coste y tipo de servicio, se suele situar entre el autobús y el metro pesado, pudiendo ser de gran utilidad como modo de transporte principal en ciudades medias, como alimentador/distribuidor en ciudades de mayor tamaño, o simplemente para conectar la ciudad con sus principales núcleos periféricos (Vuchic, 2005).

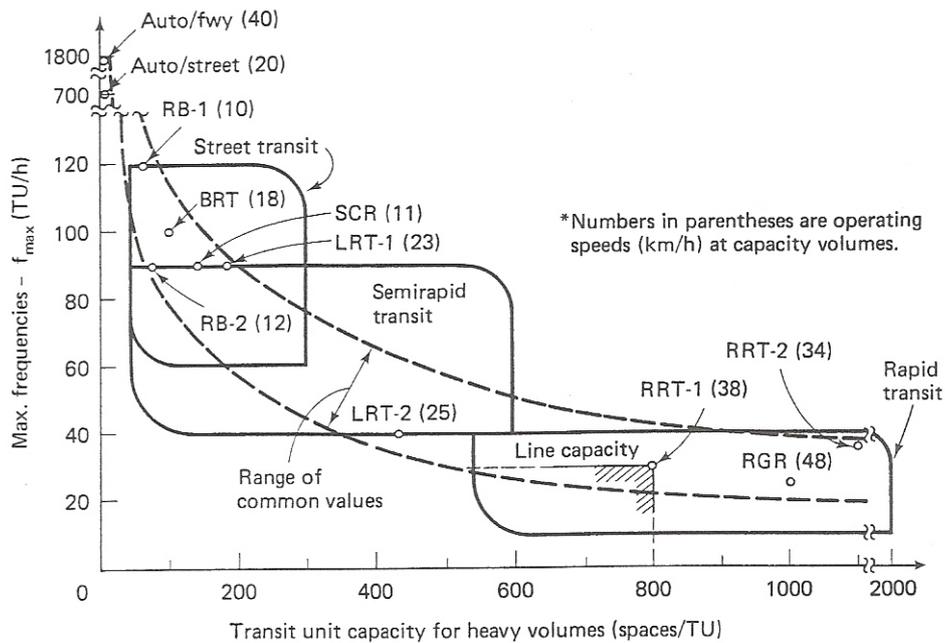


Figura 1.8. Clasificación de modos de transporte público. Fuente: Vuchic, 2005

Los primeros sistemas de metro ligero datan de la década de los años 70 en ciudades alemanas (Frankfurt, Stuttgart o Hannover) con motivo de mejorar el sistema tranviario existente. A pesar de su origen germánico, las intervenciones más destacadas en relación con la incorporación de este sistema de transporte en la ciudad, se producen durante los años 80 en Francia y Norteamérica, donde previamente habían sido desmanteladas por completo las redes tranviarias existentes. Son ejemplos destacados de este contexto, los casos de Nantes y Grenoble en Francia, Calgary en Canadá o San Diego en Estados Unidos (Cervero, 1984) (CEMT, 1994). A lo largo de la década de los 90 se extendieron por otros países del continente europeo como Reino Unido (Manchester) o España (Valencia) (Zamorano *et al.*, 2007).

Algunas de las principales ventajas o aspectos positivos a nivel ambiental y urbanístico de los sistemas de metro ligero son los siguientes (Shaffer, 1999) (Campions *et al.*, 2000):

- a) *Revitalización urbana*, ya que la implantación de sistemas de metro ligero supone un elemento atractor de actividades, turismo y empleos a lo largo de su trazado, especialmente en el entorno de sus paradas.
- b) *Intrusión visual en el paisaje urbano*, dotando a la ciudad de una imagen de modernidad, siendo un elemento de marketing de cara a visitantes, peatones, comerciantes, etc.
- c) *Reordenación y permeabilidad viaria*, consecuencia de que la implantación del sistema de metro ligero implica una reordenación de usos viarios –en aquellos tramos por donde transcurre en superficie- y, consecuentemente, la oportunidad de generar espacio para el peatón, ya que este modo de transporte es menos agresivo que el automóvil o el autobús público, al menos en lo que respecta a su velocidad de circulación, frecuencias de paso, integración de la plataforma, etc.

d) *Ruidos y vibraciones*, ya que un adecuado diseño de la infraestructura permite conseguir unos niveles de ruido y vibraciones asumibles para espacios urbanos con alta sensibilidad a tales efectos ambientales.

e) *Emisiones atmosféricas*. El hecho de que sea un sistema de transporte con tracción eléctrica hace que no se produzcan emisiones atmosféricas durante su funcionamiento, por lo que puede inducir una mejora de la calidad del aire local a nivel del viario.

En consecuencia, capturar gran parte de las ventajas que puede suponer la implantación de un sistema de metro ligero para la movilidad urbana, implica trabajar sobre aquellos factores que son más exitosos a la hora de integrar a nivel ambiental-urbano estos sistemas de transporte público (Shaffer, 1999) (Priemus y Konings, 2001) (Babalik y Sutcliffe, 2002) (Hass-Klau y Crampton, 2005).

Tabla 1.10. Recomendaciones para la implantación de sistemas de metro ligero

Priemus and Konings (2001)	Babalik and Sutcliffe (2002)	Hass-Klau and Crampton (2005)
-Regeneración Urbana vinculada a las líneas de metro ligero	-Integración del metro ligero mediante regeneración urbana	-Tratamiento y gestión de la propiedad del suelo en el trazado del metro ligero
-Adecuación del trazado a itinerarios turísticos	-Fomento de la intermodalidad entre metro ligero y bus	-Intervención sobre flujos de movilidad en el centro de la ciudad (reducción de tráfico, reducción de aparcamientos, etc.)
-Red jerarquizada e Integración modal Bus-Metro ligero	-Adecuación del trazado a zonas de demanda (CBC, áreas comerciales...)	-Trazado vinculado a principales centralidades, áreas industriales y comerciales.
-Órganos de gestión supramunicipal de los sistemas de metro ligero	-Aparcamientos vinculados a las principales estaciones de metro ligero	-Coordinación administrativa vertical y horizontal para garantizar el éxito del sistema
-Diversificación de compañías de explotación	-Garantizar una eficiente frecuencia del servicio	
-Priorización de la red de metro frente al coche (sensibilización, incentivos...)	-Fomentar la integración tarifaria entre sistemas de transporte colectivo	
-Alto nivel del servicio del transporte en tiempo	-Publicidad y marketing	
	-Adaptación del planeamiento urbanístico al nuevo sistema de metro ligero (lugares de oportunidad, restricción de tráfico, equipamientos...)	
	-Fomentar nuevos proyectos urbanos vinculados al sistema de metro ligero	

Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes recogidas en la tabla

En vista de la tabla 1.10, los distintos factores de éxito podrían agruparse en los siguientes bloques:

a) *Regeneración urbana* asociada al trazado del metro ligero, de manera que se fomenten efectos sinérgicos entre este sistema de transporte público y el tipo de actividades urbanas que se desarrollan en su entorno más inmediato.

- b) *Trazado y centralidad.* Asociar las líneas de metro ligero a centralidades urbanas existentes es un factor clave desde el punto de vista del uso de dicho modo de transporte.
- c) *Reordenación de flujos y prioridad.* La captura de gran parte de las posibles ventajas ambientales que introduce el sistema de metro ligero, pasan por una adecuada reordenación de flujos motorizados, a la vez que se prioriza la circulación de este sistema de transporte público sobre el resto de modos.
- d) *Gestión y explotación del servicio,* especialmente a partir de frecuencias modulables en función de picos de demanda, puntualidad y fiabilidad.
- e) *Intermodalidad,* fundamentalmente a través de los equipamientos necesarios para ello (aparcamientos de coches, de bicicletas, paradas de autobús urbano, etc.), así como a partir de medidas de integración tarifaria modal.
- f) *Espacio público y movilidad no motorizada,* a través de la recuperación de espacio para el peatón, dotación de servicios y equipamientos públicos en la vía (lugares de reposo, tránsito, comercios, restaurantes, etc.), conjuntamente con el desarrollo y promoción del espacio para la bicicleta.

En consecuencia, la tabla 1.11 recoge algunos ejemplos de ciudades y áreas urbanas con una implantación exitosa de sistemas de metro ligero, señalando en cada caso los factores de éxito más destacados de acuerdo a los bloques anteriores.

Tabla 1.11. Ejemplos de factores de éxito en la implantación de sistemas de metro ligero

CIUDAD/REGIÓN	FACTORES DE ÉXITO					
	Regeneración urbana	Trazado y centralidad	Reord. Flujos y prioridad	Gestión y explotación del servicio	Intermodalidad	Espacio público y movilidad no motorizada
Basilea (163.500 hab)		-Reducción de distancias a paradas en lugares de alta actividad diaria	-Reducción de aparcamientos	-Tarjeta de integración tarifaria (desde 1984)		
Birmingham (1.001.200 hab)	-Rehabilitación de residencial y localización de equipamientos y servicios públicos					-3,5 Km peatonalizados
Calgary (1.060.300 hab)	-Facilidades para la adquisición de locales para empleos en torno al trazado del metro ligero		-Encarecimiento del aparcamiento	-Alta fiabilidad del sistema de metro ligero	-La mayor parte de las paradas son intermodales entre metro ligero y autobús público -Alta dotación de aparcamientos disuasorios	
Dresde (523.058 hab)		-Reducción de distancias a paradas en lugares de alta actividad diaria		-Tarjeta de integración tarifaria		
Estrasburgo (440.704 hab)			-Reducción de 1600 plazas de aparcamientos de rotación	-Tarjeta de integración tarifaria	-Creación de parking disuasorios (4700 plazas)	
Friburgo (219.665 hab)	-Rehabilitación residencial y desarrollo de ecobarrios	-Reducción de distancias a paradas en lugares de alta actividad diaria	-27% vías con tráfico calmado (< 30 Km/h)	-Tarjeta de integración tarifaria (desde 1984)		-8 km peatonalizados -161 Km red bici
Gotemburgo (500.085 hab)	-Rehabilitación residencial		-Supresión del 50% de los espacio destinados al tránsito del automóvil		-Gran dotación de estaciones intermodales metro ligero- autobús	

Hanover (519.619)			-80% del trazado es de tránsito exclusivo para el metro ligero -Altas restricciones de tráfico, especialmente con conversión de vías a un solo sentido			-4,3 km peatonalizados
La Haya (1.011.459 hab)			-Restricción de aparcamientos de rotación -Medidas de calmado de tráfico			-Desarrollo de la red bici
Nantes (282.853 hab)		-Reducción de distancias a paradas en lugares de alta actividad diaria			-Aparcamientos disuasorios	-4,8 Km peatonalizados
Oporto (237.559 hab.)		-Articulación de municipios del área metropolitana con mayor movilidad motorizada				
Portland (533.427 hab)	-Localización de nuevas áreas de sector productivo en torno al sistema de metro ligero					-7,6 km peatonalizados -Promoción de red bici
San Diego (1.307.402 hab)	-Localización de equipamientos y servicios turísticos en lugares estratégicos de la red de metro ligero	-Articulación de municipios del área metropolitana con mayor movilidad motorizada				
Zúrich (365.098 hab)			-Restricción de velocidad y de tráfico en torno al metro ligero		-Conexiones intermodales entre metro ligero (red de 129 Km) y trolebús (red de 47 Km)	-7,4 Km peatonalizados

En la tabla 1.11 se puede ver como la regeneración urbana ha sido un factor importante en ciudades como Portland, San Diego (Estados Unidos) o Calgary (Canadá), donde la implantación de la red de metro ligero ha servido para optimizar la localización tanto de actividades relacionadas con el sector productivo, como con el sector turístico, conjuntamente con ciudades europeas como Birmingham (Reino Unido), Friburgo (Alemania) o Gotemburgo (Suecia), donde las principales medidas relacionadas con la regeneración urbana han estado vinculadas a la rehabilitación residencial, mejora de barrios y recuperación de centros históricos.

Cuidar la relación trazado-centralidad urbana ha sido un binomio importante para el éxito del metro ligero en ciudades como Basilea (Suiza), Dresde, Friburgo (Alemania), Nantes (Francia), Oporto (Portugal) y San Diego (Estados Unidos). En los casos de Oporto y San Diego gran parte del éxito del sistema de metro ligero está vinculado a que el trazado de su red persigue la vinculación de los núcleos del área metropolitana con flujos de movilidad diarios más intensos, mientras que en el resto de ciudades, la implementación exitosa de este sistema de transporte público ha estado asociada al hecho de vincular el trazado del metro ligero a las áreas con mayor número de empleos.

En la mayoría de casos consultados, el éxito del sistema de metro ligero ha estado vinculado a medidas complementarias orientadas a reducir los flujos de tráfico privado, bien mediante medidas restrictivas, especialmente destacables en los casos de Hanover (Alemania) y Gotemburgo (Suecia), bien mediante medidas destinadas a reducir la velocidad del tráfico (Friburgo, Alemania) o, finalmente, poniendo énfasis en la reducción de aparcamientos de rotación, como en los casos de La Haya (Países Bajos) y Estrasburgo (Alemania).

Respecto de las medidas de gestión y explotación del servicio como factor de éxito, destaca especialmente el caso de las ciudades alemanas recogidas en la tabla 1.11, ya que desde mediados de los años 80 han promocionado servicios de integración tarifaria de los sistemas de transporte que han facilitado y fomentado el uso de éstos por parte de los ciudadanos.

El fomento de la intermodalidad ha sido otro factor clave para conseguir una exitosa implantación de los sistemas de metro ligero, tanto con otros modos de transporte público (ver el caso de Zúrich en Suiza), así como, fomentando la implantación de parkings disuasorios que favorezcan el intercambio modal entre el vehículo privado y el metro ligero, siendo destacables los casos de Estrasburgo (Alemania) y Nantes (Francia).

Finalmente, la dotación de espacio público y de movilidad no movilizadora a lo largo del trazado de metro ligero, apunta a ser otro factor clave para una buena integración de este sistema de transporte público. Destacan entre los casos consultados las ciudades de Zúrich (Suiza) o Portland (Estados Unidos), en cuanto a peatonalización, conjuntamente con el caso de La Haya (Países Bajos) respecto del desarrollo de la red de bicicleta.

1.4.2. Los sistemas de metro ligero en el contexto andaluz

Tal y como se ha descrito con anterioridad, desde finales de los años 80 hasta la actualidad, han sido implantados multitud de sistemas de metro ligero con el objetivo de promover patrones de movilidad urbana más sostenibles. Es así como el metro ligero se convierte en uno de los principales instrumentos de innovación ambiental-urbana en diversas aglomeraciones metropolitanas a lo largo de todo el mundo (Hass-Klau y Crampton, 2005), con incidencia en el contexto andaluz desde comienzos del siglo XXI.

En este sentido, conviene introducir algunos aspectos significativos de la región andaluza, relacionados con la implantación de tales sistemas de transporte público. La Comunidad Autónoma de Andalucía es uno de los espacios más metropolitanizados de España (Ministerio de Vivienda, 2004). Las aglomeraciones metropolitanas de Sevilla y Málaga superan la cifra de 1.000.000 habitantes, Cádiz y Granada rondan los 600.000, Córdoba supera los 300.000 habitantes, existiendo al menos otras nueve áreas urbanas en torno a los 150.000 habitantes, entre las que destacan capitales de provincia como Almería, Huelva y Jaén. Los problemas ambientales, urbanísticos y sociales derivados de la relación entre los actuales patrones de movilidad y el sucesivo proceso de metropolitanización (Feria, 2011) -al menos en las principales aglomeraciones urbanas andaluzas (Sevilla, Málaga, Bahía de Cádiz, Granada y Campo de Gibraltar) donde predomina el uso del transporte privado en un 67% (Monzón; Pardeiro; Pérez, 2006)-, han generado a lo largo de la última década una serie de debates sobre la necesidad de implantar el metro ligero como eje estructurante de la nueva política de movilidad e intermodalidad en dichas regiones (ver tabla 1.12). De esta forma, se diseña desde la administración andaluza una serie de políticas e instrumentos al amparo competencial establecido por la Ley 2/2003 de Ordenación de los Transportes Urbanos y Metropolitanos de Viajeros en Andalucía, basados principalmente en el fomento del uso del transporte público y la intermodalidad, la elaboración de Planes Técnicos de Movilidad (actualmente solo se encuentra aprobado el Plan de Transporte Metropolitano del Área de Sevilla), la creación de 9 consorcios de transportes (en las ocho áreas urbanas capitales de provincia junto con el Campo de Gibraltar) o finalmente, la elección del metro ligero como medio de transporte principal en la generación de externalidades positivas derivadas de la política de movilidad metropolitana andaluza, aspirando, por lo tanto, a ser elemento protagonista en la transformación de tales espacios (Valenzuela *et al*, 2007).

Tabla 1.12. Proyectos de metro ligero en las principales áreas urbanas andaluzas

	<i>Nº de líneas</i>	<i>Longitud total (m.)</i>	<i>Nº de paradas</i>	<i>Estimación de viajeros (mill/año)</i>	<i>Población servida</i>	<i>Duración</i>	<i>Fase</i>
<i>Almería</i>	1	10.000	17	-	99.000	18'	Estudio informativo de alternativas Anteproyecto
<i>Bahía de Cádiz</i>	1	24.000	18	3.2	233.483	35'	En ejecución
<i>Córdoba</i>	3*	20.000	-	-	-	-	*Estudio de viabilidad Anteproyecto en redacción
<i>Granada</i>	1	15.923	26	12.9	138.248	45'	En ejecución
<i>Huelva</i>	1	10.000	-	-	-	12'	Estudio de viabilidad
<i>Jaén</i>	1	4.700	10	3	-	12'	En ejecución
<i>Málaga</i>	<i>L 1</i>	9.800	14	17.4	202.824	18'	En ejecución
	<i>L 2</i>	6.700	10			15'	En ejecución
<i>Sevilla</i>	<i>L 1</i>	18.897	22	20.4	227.974	39'	En servicio
	<i>L 2,3,4</i>	-	-	-	-	-	En redacción

Fuente: elaboración propia a partir de la Consejería de obras públicas y transportes (2011)

Tomando como referencia los casos de las Áreas Metropolitanas de Granada, Málaga y Sevilla (figura 1.9), consecuencia de la dimensión de su proyecto de metro ligero, así como de su grado de madurez respecto del resto de proyectos recogidos en la tabla 1.12, se comentarán algunas de las principales medidas urbanístico-ambientales recogidas en sus figuras de planificación territorial y del planeamiento urbanístico relacionadas con dicha implantación de los sistemas de metro ligero, con el objetivo de mostrar una visión general y de contexto de cómo están siendo integrados tales modos de transporte público en el ámbito metropolitano andaluz a partir de sus figuras de planificación. Se evita en este apartado profundizar sobre el caso particular del Área Metropolitana de Granada, ya que al ser el caso de estudio de la presente investigación, se analizará con un detalle mayor en el capítulo 2 relativo al caso de estudio y fuentes de información utilizadas en el planteamiento de cada alternativa.

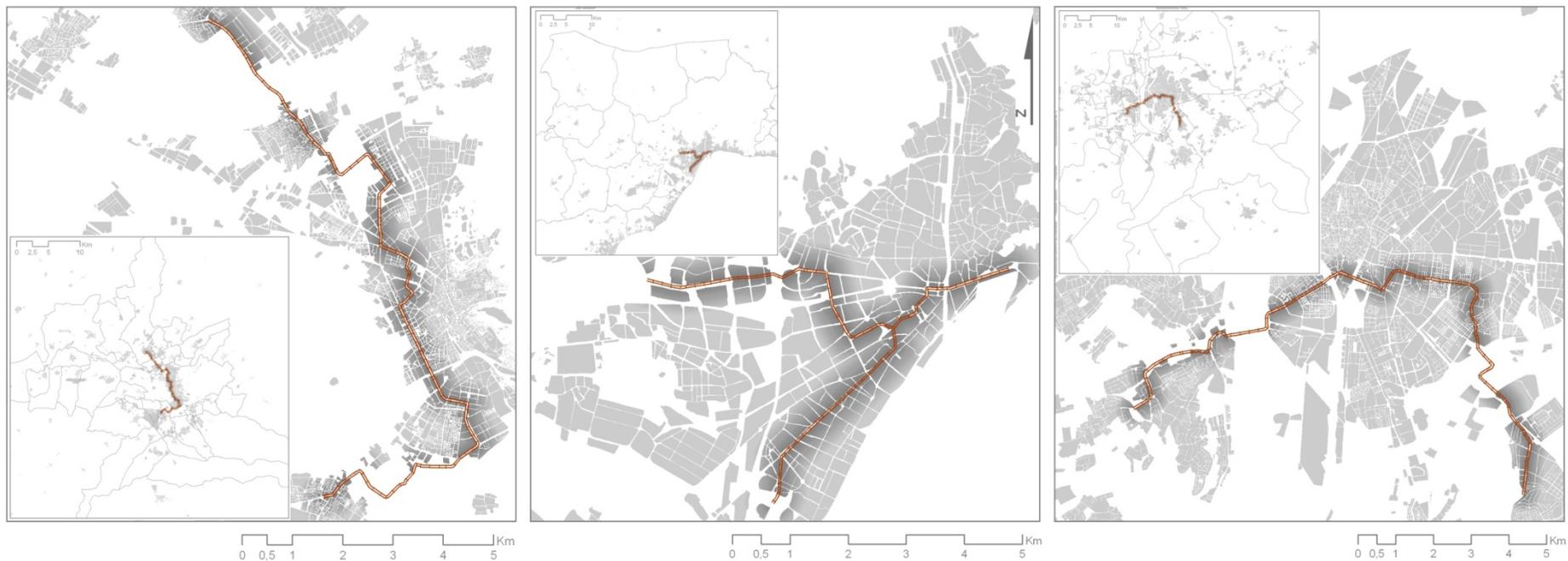


Figura 1.9. Localización geográfica de los sistemas de metro ligero en las Áreas Metropolitanas de Granada, Málaga y Sevilla respectivamente. Fuente: elaboración propia

De forma general, se puede ver en la tabla 1.13 como las principales medidas de tipo urbanístico promovidas desde las figuras de planificación territorial, urbanística y de la movilidad, están vinculadas fundamentalmente al rediseño viario por donde transcurre el sistema de metro ligero, conjuntamente con medidas de peatonalización vinculadas al acceso a paradas y relocalización de aparcamientos, todo ello en busca de sinergias con el nuevo sistema de transporte público.

Por otro lado, las principales medidas de tipo ambiental vienen a estar caracterizadas por la limitación de los flujos de tráfico, especialmente en aquellos lugares por donde transcurre el sistema de metro ligero. Medidas importantes ya que como con anterioridad se ha mostrado, la reordenación de flujos es uno de los principales factores de éxito de cara a capturar gran parte de las ventajas ambientales que derivan de la implantación de este sistema de transporte público. Junto a dicha reordenación de flujos, medidas vinculadas al desarrollo de una red de circulación en bicicleta, especialmente en el caso de las Áreas Metropolitanas de Málaga y Sevilla, predominan de cara a promocionar a partir del sistema de metro ligero unos patrones de movilidad urbana más sostenibles.

1.5. Acotaciones teóricas para el desarrollo de un modelo de evaluación de la movilidad urbana basado en umbrales ambientales

En vista de las líneas de fundamentación desarrolladas a lo largo de este capítulo, este apartado recoge a modo de conclusión, diferentes acotaciones a nivel teórico que ayudan a definir la dimensión y enfoque a partir de la cual se desarrollará el *modelo de umbrales ambientales*.

1.5.1. Acotaciones sobre la dimensión ambiental de la movilidad urbana

Destacan los siguientes aspectos:

- El *modelo de umbrales ambientales* debería interiorizar los principios de movilidad urbana sostenible identificados, de cara a evaluar las distintas alternativas, con un enfoque dominante basado en la relación estructura urbana-modos de viaje (ver tabla 1.3; apartado 1.2.1).
- Los resultados del *modelo de umbrales ambientales* deben ser de utilidad de cara a incentivar modelos de planificación de la movilidad basados en la gestión de la demanda de desplazamientos (ver apartado 1.2.2). En este sentido, tales resultados pueden contribuir a esta cuestión por medio del diseño de un sistema de indicadores para evaluar la movilidad urbana, establecer umbrales ambientales, realizar un diagnóstico apoyado en la relación transporte-estructura urbana para, finalmente, identificar qué factores implicados en la planificación de la movilidad son determinantes en la componente ambiental de ésta.

- Dado que el enfoque dominante se basa en la relación estructura urbana-modo de viaje, el modelo debería hacer operativos sus resultados sobre dicho binomio, para lo que tras una revisión bibliográfica, ha sido definido el concepto de *entorno de movilidad* como unidad espacial para la evaluación (ver apartado 1.2.3).

1.5.2. Acotaciones sobre la evaluación ambiental de la movilidad urbana

Destacan los siguientes aspectos:

- Dadas las características particulares que tiene la movilidad urbana para ser evaluada a nivel ambiental, donde más importante que evaluar sus consecuencias proyectuales es evaluar su propio funcionamiento, el *modelo de umbrales ambientales* estará basado en medir el *rendimiento ambiental* de la movilidad urbana en lugar de basar la evaluación sobre el concepto clásico de *impacto ambiental* (ver apartado 1.3.).
- Como en la mayoría de los sistemas de evaluación del rendimiento, el modelo que se presenta en esta investigación debe ser de gran utilidad para la comparación y selección de alternativas, pero no solo porque indique qué alternativa tiene una tendencia más o menos sostenible, como ocurre en los casos consultados, sino porque basa su diseño sobre la identificación de umbrales ambientales, capaces de mostrar cuánto de efectivas a nivel ambiental son las diferencias entre una alternativa y las otras.
- En similitud con la mayor parte de los sistemas de evaluación del rendimiento de la movilidad analizados (ver apartado 1.3.3), el *modelo de umbrales ambientales* debería diseñarse para extraer tanto lecturas parciales como globales sobre el funcionamiento de la movilidad urbana. Estando dicha evaluación basada en indicadores ambientales cuantitativos.
- A diferencia del carácter preventivo o incluso de seguimiento de la mayoría de los casos estudiados, el *modelo de umbrales ambientales* parte de una perspectiva pro-activa de cara al proceso de toma de decisiones en el campo de la movilidad, en la medida y sus resultados informan sobre qué factores de las alternativas consideradas son más determinantes para alcanzar determinados niveles de rendimiento ambiental, permitiendo la interacción con otros aspectos que inciden en la movilidad a nivel económico, social, modal, tecnológico, etc.
- De acuerdo al enfoque dominante sobre el que se basa el desarrollo del *modelo de umbrales ambientales* a partir de la relación estructura urbana – modo de viaje, a diferencia del resto de casos consultados, no se incorporarán en la evaluación aspectos relativos a la seguridad viaria o a la componente económica de la gestión del transporte (ver apartado 1.2 y 1.3).

1.5.3. Acotaciones sobre los sistemas de metro ligero

- El *modelo de umbrales ambientales* debe servir para obtener conclusiones sobre la medida en qué las diferentes alternativas que se evalúan, son capaces de captar muchas de las ventajas urbanístico-ambientales que pueden derivarse de la implantación de estos sistemas de transporte público (ver apartado 1.4.1).
- Tanto los indicadores ambientales como la comparativa de los resultados del modelo en base al concepto de *entorno de movilidad*, deben basarse doblemente, tanto en los factores de éxito expuestos en el apartado 1.4.1, así como, en las particularidades que de estos sistemas de transporte público en el caso andaluz.

CAPÍTULO 2

CASO DE ESTUDIO: UN CORREDOR DE MOVILIDAD EN EL ÁREA METROPOLITANA DE GRANADA

CAPÍTULO 2. CASO DE ESTUDIO: UN CORREDOR DE MOVILIDAD EN EL ÁREA METROPOLITANA DE GRANADA

ÍNDICE

2.1	Introducción	.....	83
2.2	Las alternativas del corredor como escenarios de movilidad. Fuentes de información	.....	88
2.2.1	“Factores variables” de cada alternativa	.....	88
2.2.1.1	Factores de flujo modal de cada alternativa	.....	88
2.2.1.2	Factores de dimensionamiento modal viario	.....	92
2.2.1.3	Factores de ocupación modal de viajeros	.....	96
2.2.2	“Factores constantes” en ambas alternativas	.....	98
2.3	Las alternativas del corredor y el “modelo de umbrales ambientales”	.....	102

Resumen

El capítulo presenta las principales características del caso de estudio sobre el que se desarrolla y aplica el *modelo de umbrales ambientales*.

El trabajo se desarrollará sobre un corredor de movilidad en el Área Metropolitana de Granada, integrado por cuatro municipios: Albolote, Armilla, Granada y Maracena. Su característica particular reside en que las instituciones competentes han decidido implantar un sistema de metro ligero en este corredor.

En consecuencia, se plantean dos posibles alternativas: (i) Alternativa S.0, relativa a mantener el corredor con las características existentes en 2008 sin implantar este sistema de transporte público y; (ii) Alternativa S.1 relativa a implantar en el corredor el sistema de metro ligero, lo que implica una reordenación viaria del corredor y de sus principales modos de transporte.

Los contenidos centrales de capítulo giran en torno a explicar las fuentes de información utilizadas para caracterizar a cada alternativa, así como, algunas particularidades de la aplicación del *modelo de umbrales* sobre ellas.

Abstract

The chapter presents the main characteristics of research study-case. The research will be developed on metropolitan transit corridor in metropolitan area of Granada (Spain). The corridor is integrated for four municipalities: Albolote, Armilla, Granada y Maracena.

The different institutions with competences in the corridor have decided to implement a light rail system. For this reason, it has been designed two alternatives for the corridor: (i) S.0 alternative, which is based on non-implementation of light rail system; (ii) S.1 alternative, which is based on the implementation of light rail system.

The contents of chapter are focused on the explanation of the main sources of research and the application of the *environmental thresholds model* on the two alternatives defined.

2.1. Introducción

El caso de estudio seleccionado es un corredor de movilidad en el Área Metropolitana de Granada, específicamente en los 4 municipios siguientes: Albolote, Armilla, Granada y Maracena (ver figura 2.1), donde las diferentes instituciones han decidido implantar un sistema de metro ligero, lo que implica una reordenación viaria del corredor y de sus principales modos de transporte. Esta situación convierte al corredor de movilidad en idóneo para aplicar y validar el *modelo de umbrales ambientales*, como consecuencia de los siguientes aspectos:

- El debate sobre la conveniencia de implantar el sistema de metro ligero desde un punto de vista ambiental, deja dos alternativas posibles para evaluar. La primera de las alternativas (S.0) es relativa a mantener el corredor con sus características iniciales sin implantar el sistema de metro ligero. La segunda de las alternativas (S.1) es relativa a implementar este sistema de transporte público.
- La introducción del sistema de metro ligero implica tanto la reordenación de la sección viaria del corredor, como de su sistema de transportes, por lo que cada una de las dos alternativas representan escenarios de movilidad diferentes, sobre los que sería idóneo evaluar su movilidad en términos de rendimiento ambiental.
- El corredor tiene una alta incidencia sobre su entorno urbano inmediato, articulando a éste y canalizando gran parte de sus flujos de movilidad. Por esta razón, resulta determinante enfocar su evaluación desde una perspectiva integrada entre estructura urbana y modos de viaje, tal y como se propone a través del *modelo de umbrales ambientales*.

Cada una de las dos alternativas se divide en 25 tramos de estudio que actúan a modo de unidades funcionales del corredor, sobre las que se aplica el *modelo de umbrales ambientales*. Cada tramo está delimitado por dos paradas adyacentes del sistema de metro ligero (ver tabla 2.1). La idoneidad de dividir el corredor en 25 tramos para cada alternativa responde a las siguientes cuestiones:

- Permite extraer conclusiones pormenorizadas de los diferentes sectores del corredor
- Incrementa la capacidad de poner en relación el rendimiento ambiental de cada alternativa del corredor con su entorno urbano inmediato.
- Favorece la comprensión del corredor como eje estructurante del contexto metropolitano donde se ubica el caso de estudio, especialmente como consecuencia de su capacidad articuladora de ejes transversales relevantes (ver figura 2.2).

Tabla 2.1. Paradas de metro ligero y delimitación de tramos del corredor

Tramos	Paradas
1	Jacobo Camarero - Juncaril
2	Juncaril - Vicuña
3	Vicuña – Anfiteatro
4	Anfiteatro- Blas de Otero
5	Blas de Otero –Cerrillo Maracena
6	Cerrillo Maracena – Carretera de Jaén
7	Carretera de Jaén – Estación de Autobuses
8	Estación de Autobuses – Argentinita
9	Argentinita – Perete
10	Perete – Villarejo
11	Villarejo – Caleta
12	Caleta – Renfe
13	Renfe – Universidad
14	Universidad- Méndez Núñez
15	Méndez Núñez – Recogidas
16	Recogidas – Río Genil
17	Río Genil- Hípica
18	Hípica – Salvador Allende
19	Salvador Allende – Palacio de Deportes
20	Palacio de Deportes – Los Cármenes
21	Los Cármenes – Campus de la Salud I
22	Campus de la Salud I – Campus de la Salud II
23	Campus de la Salud II – Nevada
24	Nevada – Granada
25	Granada - Poniente

Fuente: elaboración propia

La figura 2.1 muestra la localización geográfica del corredor junto con la propuesta de paradas del sistema de metro ligero, mientras que la figura 2.2 ilustra la capacidad de articulación del corredor, a través de su conexión con ejes transversales de relevancia, junto con su entorno urbano inmediato.



Figura 2.1. Corredor de movilidad en el Área Metropolitana de Granada. Fuente: elaboración propia.



Figura 2.2. El corredor de movilidad como eje articulador del espacio metropolitano. Fuente: elaboración propia.

Durante los últimos 30 años, los procesos de metropolización en esta *Comarca de la Vega de Granada* han reforzado una espiral de interdependencia entre los municipios que la conforman (Valenzuela *et al*, 2007) (Aguilera, 2008), en parte traducidos en crecientes flujos de viajes, especialmente en sentido corona de municipios-capital (Ayuntamiento de Granada, 2006), donde a pesar de la creación del Consorcio de Transportes Metropolitanos¹ y la consecuente Red Integrada de Transporte Público, problemas como el crecimiento del automóvil y la congestión, suponen una amenaza para la calidad del aire local, la contaminación acústica, la deslocalización territorial de usos del suelo, conjuntamente con alteraciones del tradicional paisaje agrícola de la región, como consecuencia de las nuevas infraestructuras de transporte rodado.

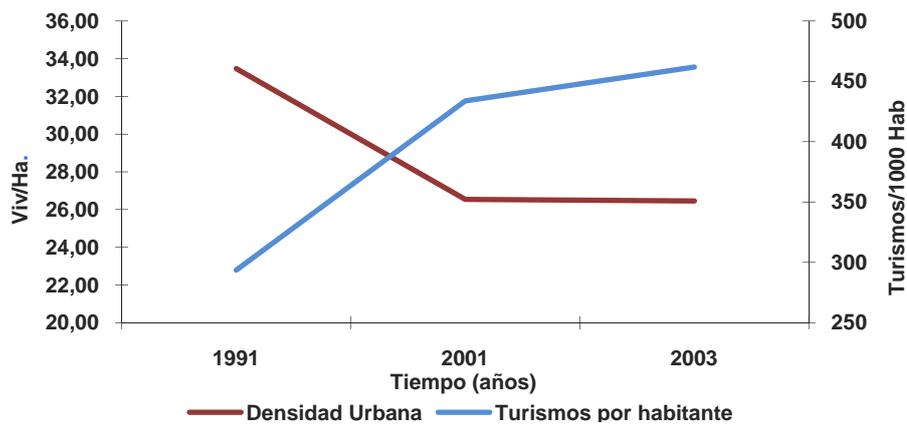


Figura 2.3. Evolución de la densidad urbana y niveles de motorización en el Área Metropolitana de Granada Fuente: elaboración propia a partir del IEA

En consecuencia, como resultado de las estrategias impulsadas desde el gobierno autonómico desde principios del siglo XXI y descritas en el capítulo anterior, se propone la implantación de un sistema de metro ligero para los cuatro municipios mencionados, como vector promotor de nuevas pautas de movilidad sostenible.

Tabla 2.2. Características principales del proyecto de metro ligero en el Área Metropolitana de Granada

<i>Propuesta de metro ligero en el Área Metropolitana de Granada</i>	<i>Nº de líneas</i>	<i>Longitud total (m.)</i>	<i>Nº de paradas</i>	<i>Estimación de viajeros (mill/año)</i>	<i>Población servida</i>	<i>Duración</i>	<i>Fase</i>
	1	15.923	26	12.9	138.248	45'	En ejecución

Fuente: elaboración propia a partir de la COPT (2011)

¹ Ver página web del Consorcio de Transportes de Granada: www.ctagr.com

2.2. Las alternativas del corredor como escenarios de movilidad. Fuentes de información

Tal y como se ha indicado con anterioridad, para aplicar el *modelo de umbrales ambientales* son consideradas dos posibles alternativas para el corredor:

- La alternativa S.0. relativa a mantener el corredor con las condiciones iniciales existentes antes de decidir la implantación del sistema de metro ligero.
- La alternativa S.1. relativa a implementar este sistema de transporte público, a partir de una reordenación viaria y de los sistemas de transporte.

De cara a aplicar el *modelo de umbrales ambientales*, tales alternativas son consideradas como dos escenarios de movilidad para el corredor, sobre las que evaluar su rendimiento ambiental. Tales escenarios están constituidos por diferentes *factores* clasificados en dos tipos:

- *Variables*, cuando son diferentes en cada una de las alternativas, de modo que caracterizan a éstas. Algunos ejemplos son: el flujo modal, dimensión modal viaria del corredor y ocupación modal de viajeros.
- *Constantes*, cuando son similares en las dos alternativas. Algunos ejemplos de estos *factores* son: coeficientes ambientales, pesos de agregación para la obtención de índices agregados o características del entorno urbano del corredor².

El valor de los *factores* que componen cada alternativa está recopilado para cada uno de los 25 tramos en los que se ha sido dividido el corredor. A continuación se realiza una descripción básica de las fuentes de información de cada *factor*, así como, de sus características principales.

2.2.1. “Factores variables” de cada alternativa

Para describir el escenario de movilidad que representa cada una de las dos alternativas, se consideran tres tipos de *factores variables*: (i) El flujo modal; (ii) El dimensionamiento modal viario; (iii) La ocupación modal de viajeros.

2.2.1.1. Factores de flujo modal de cada alternativa

Las principales fuentes de información consultadas para establecer los valores de flujo modal de cada alternativa están recogidos en la tabla 2.3. A continuación se describe de forma pormenorizada el procedimiento seguido en cada caso,

² El corredor transita por suelo urbano consolidado en el 95% de su trazado, con excepción del tramo 3 en el municipio de Maracena. Por razones de concreción y alcance de la propia investigación no serán consideradas las posibles alteraciones que el planeamiento urbanístico pueda introducir en este lugar, así como en el resto de tramos. De ahí, que los *factores* estudiados en relación con el entorno urbano del corredor se consideren como *factores constantes* a la hora de confeccionar el escenario de movilidad que supone cada alternativa.

Tabla 2.3. Fuentes de información de los factores de flujo modal

FUENTE	AÑO	AUTOR/EDITOR
Red de Aforos de Tráfico	2008	Ayuntamiento de Granada
Estudio de Demanda del Estudio Informativo de la línea de Metro Ligero de Granada	2002	AYESA para la Junta de Andalucía
Modelización de la movilidad actual y futura en el Área Metropolitana de Granada tras la puesta en servicio de la red de Metro Ligero (Estudio de Demanda)	2007	EPYPSA/AIT para Ferrocarriles de la Junta de Andalucía
Reforma del Estudio de Demanda debido a cambio de trazado de la línea de metro en el entorno de la Estación de Ferrocarril	2009	EPYPSA/AIT para Ferrocarriles de la Junta de Andalucía
Anteproyecto de la línea de Metro Ligero de Granada	2003	AYESA para la Junta de Andalucía
Trabajo de campo	2009	-
Web del consorcio de Transportes de Granada	2009	Consortio Transportes de Granada
Web de la empresa transportes Rober de autobuses urbanos de Granada	2009	Empresa Rober

Respecto del flujo de automóviles:

Para los flujos de automóviles se han utilizado las siguientes fuentes de información:

- En la alternativa S.0, se ha considerado para cada tramo las IMDs obtenidas por la red de aforos del Ayuntamiento de Granada para 2008 (ver figura 2.4), conjuntamente con conteos manuales en aquellos tramos del corredor que no son cubiertos por dicha red de aforos³ (tramos del 1 al 8 y del 20 al 25).

³ En aquellos tramos para los que no se tiene información de la Red de Aforos del Ayuntamiento de Granada, han sido realizados conteos manuales para estimar su IMD. Para ellos fue usada la siguiente conversión:

$$IMD = I_{16h\ laborable} \cdot F$$

Donde,

I_{16h} = datos obtenidos manualmente de flujo de tráfico entre las 9 y las 23h

F = factor de conversión a IMD. De esta forma F se expresa como:

$$F = N \cdot S$$

siendo:

$$N = \text{coeficiente nocturnidad}$$

$$S = \text{coeficiente fin de semana}$$

Para calcular N y S se emplearon las siguientes expresiones:

$$N = \frac{IMD_{24h\ permanente}}{IMD_{16h\ máx. actividad}}$$

en la franja de 9h – 23 h de máx. actividad

$$S = \frac{IMD_{fin\ de\ semana}}{IMD_{laborable}}$$

Las IMDs necesarias para el cálculo de N y S son las provenientes de la Red de Aforos del Ayuntamiento en vías similares.

- Para la alternativa S.1 se ha aplicado un coeficiente de reducción del flujo de automóviles respecto de la alternativa S.0 del 10%, que es la tasa de reducción utilizada en el estudio de demanda del proyecto de metro ligero (EPYSA, 2007; 2008)

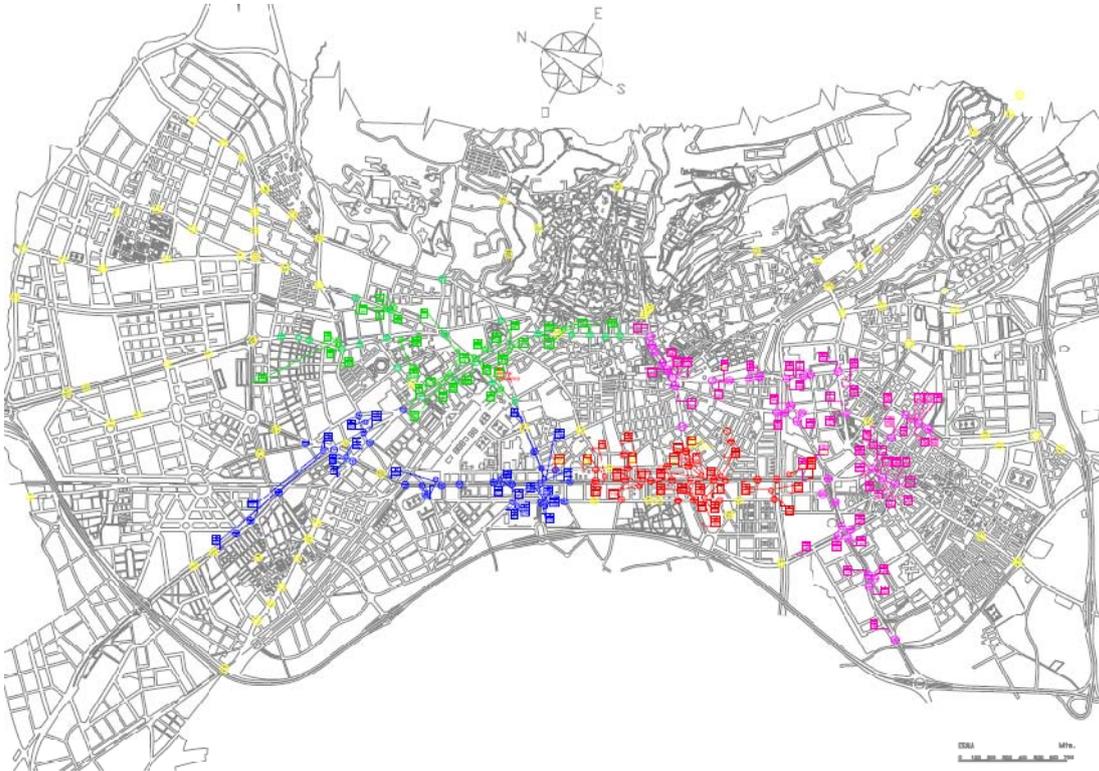


Figura 2.4. Puntos de muestreo de la red de aforos del Ayuntamiento de Granada (2008)

Respecto del flujos de autobuses públicos

Par estimar los flujos de autobuses públicos de cada alternativa se han utilizado:

- En la alternativa S.0 las frecuencias de paso e itinerarios recogidos en las páginas web del Consorcio de Transportes de Granada y de la página web de la empresa Rober S.L que explota el servicio de autobuses urbanos de Granada (ver tabla 2.4).
- En la alternativa S.1 se han considerado las frecuencias de paso e itinerarios recogidos en la *Reforma del Estudio de Demanda debido a cambio de trazado de la línea de metro en el entorno de la Estación de Ferrocarril*, donde se propone la supresión y alteración de la red de autobuses públicos una vez el sistema de metro ligero comience a explotarse (ver tabla 2.4).

Tabla 2.4. Composición de las líneas de autobús público urbano y metropolitano para la alternativa S.0 y S.1

TRAMOS	ALTERNATIVA S.0		ALTERNATIVA S.1	
	Líneas urbanas	Líneas metropolitanas	Líneas urbanas	Líneas metropolitanas
1	-	122	-	-
2	-	122	-	-
3	-	120, 121, 122	-	-
4	-	120, 121, 122	-	-
5	6	120, 122	-	-
6	10, 24	110, 111, 113, 117, 121, 123, 245, 313	24	110, 111, 113, 117, 245, 313
7	3, 10, 33	110, 111, 113, 117, 121, 123, 245, 313	3, 33	110, 111, 113, 117, 245, 313
8	10, 24	245	24	245
9	10, 24	245	24	245
10	4, 6, 9, 10, 11, 22, 24, 25	120, 122, 125, 140, 225, 226, 240, 241, 245, 325, 335, 336	4, 6, 9, 11, 22, 25	125, 140, 225, 226, 240, 241, 245, 325, 335, 336
11	3, 4, 5, 6, 9, 11, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 33	117, 120, 122, 125, 140, 225, 226, 240, 241, 245, 325, 335, 336	3, 4, 5, 6, 9, 11, 20, 21, 22, 23, 25, 33	117, 125, 140, 225, 226, 240, 241, 245, 325, 335, 336
12	3, 4, 5, 6, 9, 11, 20, 21, 23, 24	117, 120, 122, 125, 140, 225, 226, 240, 241, 245, 325, 335, 336	3, 4, 5, 6, 9, 11, 20, 21, 23	117, 125, 140, 225, 226, 240, 241, 245, 325, 335, 336
13	-	-	-	-
14	5, 10, 11, 21, 22, U	-	22, U	-
15	4, 5, 10, 11, 21, 22	-	-	-
16	4, 5, 10, 11, 21, 22	-	-	-
17	4, 5, 7, 10, 11, 21, 22, C	150, 151, 155, 156, 158, 160, 170, 171, 174A, 174B, 360	7, C	150, 151, 155, 156, 160, 170, 171, 174A, 174B, 360
18	7, 10, 11, 21	174A, 174B, 175, 176, 177, 186	7	174A, 174B, 175, 176, 177, 186
19	7, 10, C	174A, 174B, 175, 176, 177, 186	7, C	174A, 174B, 175, 176, 177, 186
20	4, 10	174A, 174B, 175, 176, 177, 186	4	174A, 174B, 175, 176, 177, 186
21	4, C	-	4, C	-
22	8	170, 171, 174A, 174B	8	170, 171, 174A, 174B
23	-	158, 160, 360	-	160, 360
24	-	150, 155, 156	-	150, 155, 156
25	-	150, 155, 156	-	150, 155, 156

Fuente: elaboración propia a partir del Consorcio de Transportes de Granada (2008) y la empresa Rober S.L (2008)

Respecto del flujo del metro ligero

La caracterización del flujo del metro ligero únicamente tiene sentido para el caso particular de la alternativa S.1, tomando como referencia una frecuencia de paso de 2 trenes cada 10 minutos de acuerdo a los informes: Ayesa (2003) y Epysa (2008).

La tabla 2.5 sintetiza los valores obtenidos para los *factores de flujo modal* en cada alternativa.

Tabla 2.5. Factores de flujo modal para cada alternativa

TRAMOS	FLUJO AUTOMÓVILES (veh/día)		FLUJO AUTOBUSES (veh/día)		FLUJO METRO LIGERO (veh/día)	
	ALT. S.0	ALT. S.1	ALT. S.0	ALT. S.1	ALT. S.0	ALT. S.1
1	724	652	144	0	0	360
2	1158	1042	144	0	0	360
3	1564	1408	216	0	0	360
4	1472	1325	230	0	0	360
5	1172	1054	409	0	0	360
6	4528	4075	632	344	0	360
7	7549	6794	1118	830	0	360
8	4352	3917	288	96	0	360
9	11784	10605	288	96	0	360
10	11936	10743	1512	1210	0	360
11	7458	6713	2424	2215	0	360
12	5316	4785	2277	1941	0	360
13	0	0	0	0	0	360
14	10897	9808	823	327	0	360
15	13723	12351	1051	0	0	360
16	10245	9221	1051	0	0	360
17	9193	8274	2261	1162	0	360
18	7965	7168	847	351	0	360
19	7370	6633	831	639	0	360
20	2978	2680	694	502	0	360
21	2876	2588	550	550	0	360
22	3765	3389	432	432	0	360
23	2829	2546	296	248	0	360
24	2419	2177	323	323	0	360
25	2391	2152	323	323	0	360

Fuente: elaboración propia

2.2.1.2. Factores de dimensionamiento modal viario

Este tipo de factores están directamente relacionados con los cambios en la ordenación viaria existentes entre una y otra alternativa. Se han considerado a este efecto las superficies destinadas a cada modo de transporte conjuntamente con la superficie verde y peatonal.

La tabla 2.6 recoge las fuentes cartográficas utilizadas para obtener el valor de estos factores en cada uno de los tramos del corredor.

Tabla 2.6. Fuentes cartográficas utilizadas para la obtención de factores de dimensionamiento modal viario

FUENTE CARTOGRÁFICA	ESCALA	AÑO	EDITADA/REALIZADA POR
Base cartográfica digital del P.G.O.U. de Granada	1:2000	2007	Ayuntamiento de Granada. Gerencia municipal de Urbanismo y Obras
Base de datos territorial de ámbito municipal	1:2000	2006	Diputación de Granada. Área de Corporación Local
Proyecto de construcción de la infraestructura y superestructura de vía de la línea 1 metropolitana del metro ligero de Granada	1:250 1:500	2005 2006 2008	VV.AA. para Ferrocarriles de la Junta de Andalucía
Ortofotografía digital de Andalucía	1:10000	2004	Consejería de Obras Públicas y Transportes
Mapa Digital de Andalucía	1:100000	2000	Consejería de Obras Públicas y Transportes. Instituto de Cartografía de Andalucía
Ortofotografía Cuadrante SE en Color de 0.5m	1:5000	2006	Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio

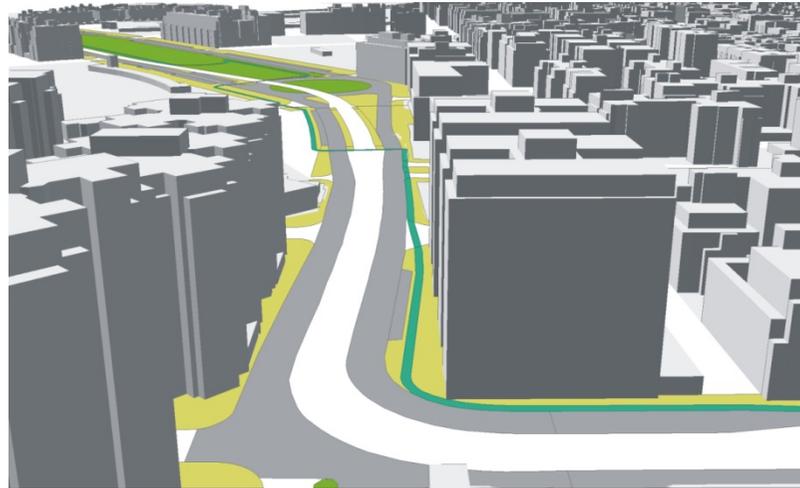
La tabla 2.7 recoge los valores obtenidos para los factores de dimensionamiento modal viario en cada alternativa y tramo.

Tabla 2.7. Factores de dimensionamiento modal viario por alternativa y tramo

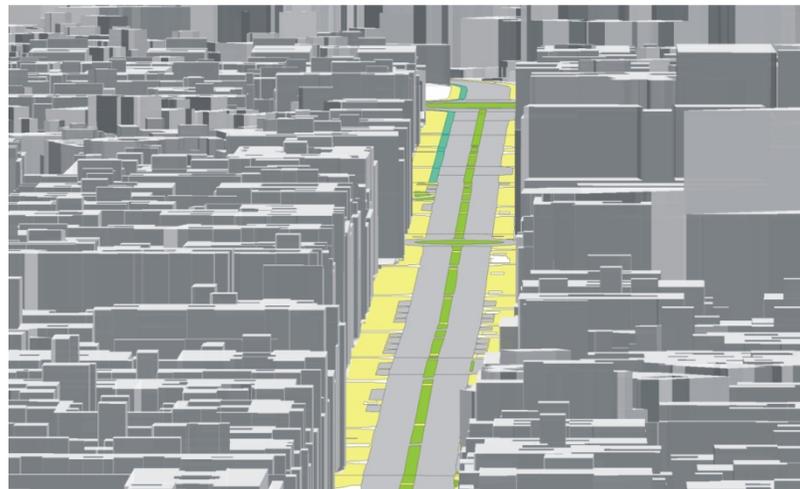
TRAMOS	SUPF. VERDE Y PEAT. (m ²)		SUPF. AUTOMÓVIL (m ²)		SUPF. AUTOBÚS (m ²)		SUPF. METRO LIGERO (m ²)	
	ALT. S.0	ALT. S.1	ALT. S.0	ALT. S.1	ALT. S.0	ALT. S.1	ALT. S.0	ALT. S.1
1	15531,35	15616,92	19759,01	14366,98	0,00	0,00	0	8166,20
2	7399,71	11920,50	12386,49	14954,05	0,00	0,00	0	9674,06
3	2263,36	3551,60	4058,02	5374,99	0,00	0,00	0	3086,85
4	5760,93	5446,43	8104,23	4470,82	0,00	0,00	0	4147,05
5	16691,92	8952,74	4946,29	2582,14	0,00	0,00	0	8264,85
6	41927,03	30968,67	18402,20	13913,14	0,00	0,00	0	6896,72
7	19611,15	17237,33	12050,20	9142,03	0,00	0,00	0	4036,42
8	13097,39	12213,81	10523,76	6323,91	0,00	0,00	0	2898,97
9	20171,77	18424,93	10855,22	10546,50	0,00	0,00	0	3619,25
10	9638,56	8930,03	10078,95	8293,08	0,00	0,00	0	2716,79
11	15288,03	14201,25	12527,84	7473,90	1080,79	2281,56	0	4620,70
12	6076,84	8717,20	3974,04	2324,09	1145,64	666,19	0	2748,84
13	5860,60	8769,24	2236,55	0,00	0,00	0,00	0	2400,79
14	9342,77	9276,57	7806,16	6161,74	0,00	0,00	0	3272,65
15	13076,72	16661,01	17750,26	14125,67	0,00	0,00	0	0,00
16	6930,23	8251,42	9806,83	8463,72	0,00	0,00	0	0,00
17	10192,27	10604,13	14278,68	10323,02	0,00	0,00	0	0,00
18	5880,51	4658,81	4839,55	4628,22	0,00	0,00	0	2660,00
19	53583,17	48774,22	15003,73	12259,37	0,00	0,00	0	4446,10
20	25114,21	15381,62	13045,86	12704,42	0,00	0,00	0	4461,50
21	13279,55	9532,08	8607,73	8976,48	0,00	0,00	0	4280,26
22	13993,93	10506,98	12278,39	12547,20	0,00	0,00	0	5963,64
23	5409,92	6283,67	5010,17	5606,94	0,00	0,00	0	6775,87
24	6039,40	8474,84	9861,59	5521,37	0,00	0,00	0	5820,20
25	8740,55	15162,49	10927,19	3093,37	0,00	0,00	0	3086,79

Es preciso aclarar que en el caso del autobús público se ha considerado exclusivamente la superficie de aquellos tramos que tienen plataforma reservada para este sistema de transporte público. Por otro lado, en el caso del metro ligero conviene destacar, que en todos los tramos de la alternativa S.1 el sistema de metro ligero transcurre en superficie con excepción del los tramo 14, 15, 16 y 17 que transcurre en subterráneo, por esta razón el valor de la superficie destinada al sistema de metro ligero es cero para estos cuatro tramos en la tabla 2.7.

La figura 2.5 recoge un ejemplo de las cartografías elaboradas para la alternativa S.1 a partir de las fuentes citadas, en relación con su dimensionamiento modal viario.



Tramos 18 y 19.
Dimensionamiento viario
alternativa S.1



Tramos 15, 16 y 17.
Dimensionamiento viario
alternativa S.0

Figura 2.5. Ejemplos del material cartográfico elaborado para el desarrollo de la investigación.

2.2.1.3. Factores de ocupación modal de viajeros

El objetivo de este apartado es obtener valores sobre el número de viajeros transportados por cada modo en cada uno de los tramos y alternativas. Las fuentes de información utilizadas se recogen en la tabla 2.8.

Tabla 2.8. Fuentes de información de los factores de ocupación modal de viajeros

FUENTE	AÑO	AUTOR/EDITOR
Directrices para una movilidad urbana sostenible en la ciudad de Granada	2006	Ayuntamiento de Granada
Estudio de Demanda del Estudio Informativo de la línea de Metro Ligero de Granada	2002	AYESA para la Junta de Andalucía
Modelización de la movilidad actual y futura en el Área Metropolitana de Granada tras la puesta en servicio de la red de Metro Ligero (Estudio de Demanda)	2007	EPYPSA/AIT para Ferrocarriles de la Junta de Andalucía
Reforma del Estudio de Demanda debido a cambio de trazado de la línea de metro en el entorno de la Estación de Ferrocarril	2008	EPYPSA/AIT para Ferrocarriles de la Junta de Andalucía

Tomando como referencia las *directrices para una movilidad urbana sostenible en la ciudad de Granada* (Ayuntamiento de Granada, 2006), se adopta una tasa de ocupación del automóvil de 1,25 viaj/veh, tomando como referencia los desplazamientos con motivo de trabajo.

En el caso de los autobuses públicos y el sistema de metro ligero, la estimación de viajeros transportados se realizará en base a los estudios de demanda consultados y sus sucesivas modificaciones (Ayesa, 2002) (Epyssa, 2007; 2008) (ver tabla 2.8), donde el método utilizado se ha basado en encuestas a la población usuaria de este corredor de movilidad.

La tabla 2.9 recoge los valores obtenidos para cada tramo y alternativa en relación con los factores de ocupación modal de viajeros.

Tabla 2.9. Ocupación modal de viajeros por alternativa y tramo

TRAMOS	VIAJEROS AUTOMÓVILES (viaj/día)		VIAJEROS AUTOBUSES (viaj/día)		VIAJEROS METRO LIGERO (viaj/día)	
	ALT. S.0	ALT. S.1	ALT. S.0	ALT. S.1	ALT. S.0	ALT. S.1
1	906	815	4157	0	0	2550
2	1447	1303	4157	0	0	6450
3	1955	1759	5360	0	0	6633
4	1840	1656	5360	0	0	8848
5	1464	1318	7980	0	0	10119
6	5660	5094	8263	1286	0	11160
7	9436	8493	26264	19287	0	13926
8	5440	4896	6337	0	0	17489
9	14729	13256	6337	0	0	18166
10	14920	13428	48133	36702	0	20169
11	9323	8391	72237	67143	0	22576
12	6645	5981	57796	52702	0	24870
13	0	0	0	0	0	24374
14	13622	12259	30552	13108	0	24296
15	17154	15438	38673	0	0	25735
16	12806	11526	38673	0	0	23756
17	11492	10343	61264	21997	0	20559
18	9956	8960	26148	8704	0	14637
19	9213	8291	22695	16358	0	12191
20	3723	3350	20052	13715	0	11236
21	3595	3236	18992	18992	0	9265
22	4706	4236	12233	12233	0	7023
23	3536	3182	594	0	0	6652
24	3024	2721	5547	5547	0	3892
25	2989	2690	5547	5547	0	3360

2.2.2. “Factores constantes” en ambas alternativas

Los *factores constantes* son aquellos que tienen el mismo valor en cada alternativa. A la hora de construir los escenarios de movilidad sobre los que aplicaremos el *modelo de umbrales ambientales*, se identifican tres tipos de *factores constantes*:

- *Coefficientes ambientales* relativos al consumo energético modal, emisión de contaminantes, etc. Para su obtención se ha partido de diferentes estudios como: Van Essen *et al* (2003) y EU (2010). El capítulo 2 no se va a extender en indicar cuál es el valor de estos factores, ya que para una mejor comprensión de la investigación, éstos se encuentran detallados en el capítulo 3 (apartado 3.2), cuando se resuelve a nivel metodológico cada uno de los indicadores que se utilizan para evaluar el rendimiento ambiental del corredor.
- *Pesos de ponderación* utilizados para la obtención de un valor de rendimiento ambiental global. Para su obtención se ha realizado un panel de expertos y actores locales. El capítulo 2 no se va a extender en explicar el procedimiento de obtención ni el valor de cada peso ponderado, ya que para una mejor comprensión, esta cuestión se encuentra detallada en el capítulo 3 (apartado 3.2).
- *Factores de estructura urbana*, que aunque no forman parte del escenario de movilidad propiamente, serán utilizados en el *modelo de umbrales ambientales* para la identificación de *entornos de movilidad*, a partir de los cuáles sistematizar los resultados de rendimiento ambiental obtenidos. Este apartado se va a centrar en explicar los datos utilizados y su proceso de obtención.

Profundizando en los datos obtenidos para estudiar la estructura urbana del corredor, las principales fuentes de información están recogidas en la tabla 2.10.

Tabla 2.10. Fuentes de información de los factores de ocupación modal de viajeros

FUENTE	AÑO	AUTOR/EDITOR
Catastro municipal de los municipios de Albolote, Armilla, Maracena y Granada	2010	Dirección General de Catastro
Trabajo de campo	2010	Elaboración propia

A partir del catastro municipal de los municipios que integran el corredor se han obtenidos los datos relativos a población residente y viviendas (ver tabla 2.10).

A partir del trabajo de campo se ha obtenido información relativa a los diferentes tipos de actividades urbanas del entorno del corredor, tomando como referencia un área de influencia de 250m. Los tipos de actividades urbanas recogidos se han agrupado en tres tipos (ver tabla 2.11): (i) Comercial - servicios; (ii) Equipamientos públicos; (iii) Industrial-tecnológico.

Tabla 2.11. Tipos de actividades urbanas seleccionadas en la investigación

TIPO	ACTIVIDAD URBANA
Comercial y otros servicios	Alimentación
	Lúdico-ocio
	Otros servicios
Equipamientos públicos	Administración
	Docencia
	Universidad
	Cultural
	Sanitario
	Transporte
	Deportivo
Industrial-tecnológico	Industrial-Tecnológico

La tabla 2.12 recoge la información relativa a estructura urbana utilizada para cada tramo del corredor, mientras que la figura 2.6 ilustra algunos ejemplos de las cartografías elaboradas a partir de dicha información.

Tabla 2.12. Datos relativos a la estructura urbana del corredor en cada tramo

TRAMOS	Viviendas	Comercial-servicios (nº locales)			Equipamientos públicos (nº locales)							Industrial (nº locales)
		Ocio	Alimentación	Otros	Administración	Docente	Universitario	Cultural	Sanitario	Transporte	Deportivo	Industrial
1	501	12	4	37	3	1	0	0	1	0	0	11
2	16	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	10
3	107	0	1	9	1	1	0	0	0	0	0	1
4	1050	16	19	95	2	1	0	0	0	0	0	0
5	400	8	3	39	2	0	0	0	0	0	0	0
6	779	0	0	15	1	0	0	0	0	0	0	0
7	303	1	0	13	0	0	0	0	0	1	0	0
8	376	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
9	211	0	1	7	1	1	0	0	0	0	0	0
10	433	3	4	43	0	0	0	0	0	0	0	0
11	991	15	10	90	7	0	1	0	3	0	0	0
12	1073	27	22	113	3	0	0	1	0	1	0	0
13	57	1	1	2	0	0	11	0	0	0	3	0
14	838	53	13	86	1	0	6	1	0	0	0	0
15	4216	129	40	343	3	1	0	2	0	0	0	0
16	2084	22	16	186	3	0	1	2	2	0	0	0
17	2227	35	17	202	2	2	0	1	1	0	0	1
18	1156	25	14	82	0	1	0	3	0	0	0	0
19	583	26	2	43	1	1	0	0	0	0	0	0
20	237	1	2	11	0	1	0	0	0	0	1	0
21	221	0	0	8	0	0	1	0	1	0	0	3
22	93	1	0	4	0	0	9	0	0	0	0	20
23	13	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	10
24	413	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	3
25	1262	17	7	97	5	0	0	2	0	0	0	7

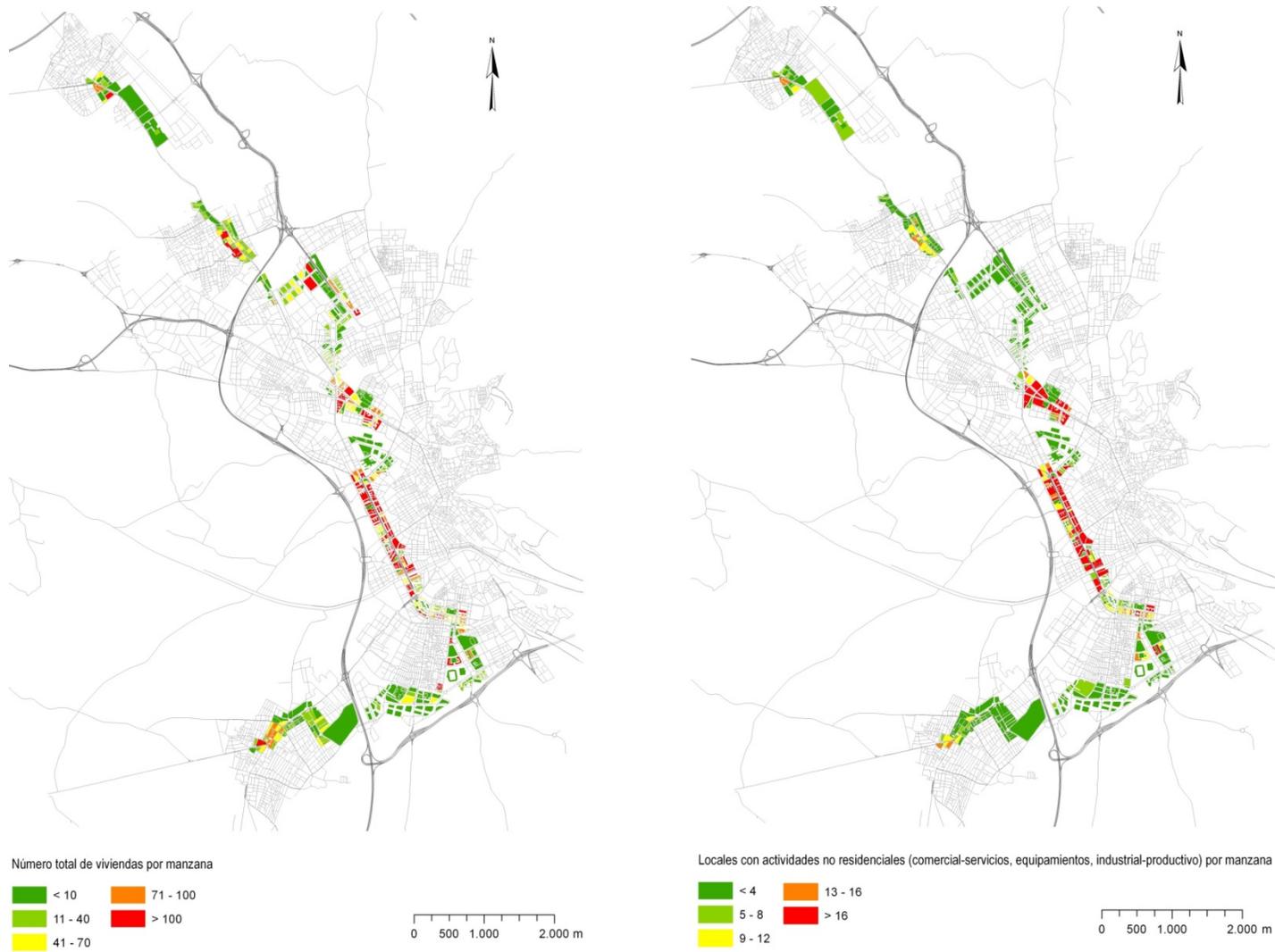


Figura 2.6. Ejemplo de representación espacial de la información recopilada para estudiar la estructura urbana.

2.3. Las alternativas del corredor y el “modelo de umbrales ambientales”

A raíz de las cuestiones previamente expuestas, este apartado recoge algunas consideraciones generales a tener en cuenta, en relación con la aplicación del *modelo de umbrales* sobre las alternativas del corredor:

- A lo largo de la investigación, los resultados de los diferentes conceptos y métodos propuestos se expondrán de forma comparada para las dos alternativas que en este capítulo se presentan (alternativa S.0 y alternativa S.1).
- Cada alternativa ha sido dividida en 25 tramos, estando cada tramo delimitado por dos paradas de metro ligero adyacentes.
- En consecuencia, cada alternativa representa un escenario de movilidad diferente para el mismo corredor. Estos escenarios se han construido en base a distintos *factores* que pueden ser *constantes* (cuando su valor es similar en ambas alternativas) o *variables* (cuando su valor es diferente en cada alternativa caracterizando a éstas).
- En este capítulo se han presentado los valores por tramos y alternativa de algunos de los *factores* más representativos de los escenarios de movilidad que representa cada alternativa, aunque a lo largo de la investigación pueden aparecer datos complementarios a éstos, cuyo origen será aclarado en ese momento.
- La alternativa S.0 representa una opción para el corredor en la que no se produciría la implantación del sistema de metro ligero, manteniendo las características iniciales del corredor en el año 2008.
- La alternativa S.1 representa una opción para el corredor en la que se introduce el sistema de metro ligero, induciendo una reordenación viaria del corredor y de sus sistemas de transporte público respecto de la situación existente en 2008.
- El sistema de metro ligero propuesto en la alternativa S.1 transcurre siempre en superficie con excepción de los tramos 14, 15, 16 y 17, localizados entre las paradas de Universidad e Hípica.

CAPÍTULO 3

**UN SISTEMA DE INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN
DEL RENDIMIENTO AMBIENTAL**

CAPÍTULO 3. UN SISTEMA DE INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO AMBIENTAL

ÍNDICE

3.1	Introducción y objetivos	.....	106
3.2	Descripción metodológica del sistema de indicadores	.....	108
3.2.1	Fase 1ª. Diseño y selección de indicadores	.....	108
	3.2.1.1 Indicadores relativos al uso de energía y otros recursos	.....	110
	3.2.1.2 Indicadores relativos a la emisión de residuos	.....	112
	3.2.1.3 Indicadores relativos al uso modal viario	.....	115
3.2.2	Fase 2ª. Agregación de resultados	.....	116
	3.2.2.1 Obtención de pesos de ponderación	.....	116
	3.2.2.2 Normalización de los indicadores	.....	117
	3.2.2.3 Obtención de un valor agregado	.....	118
3.2.3	Fase 3ª. Aplicación al caso de estudio	.....	118
3.3	Sistema de indicadores y comparación ambiental de alternativas	.....	119
3.3.1	Indicadores relativos al uso de energía y otros recursos	.....	119
	3.3.1.1 Eficiencia energética de la movilidad urbana	.....	119
	3.3.1.2 Eficiencia superficial de la movilidad urbana	.....	127
3.3.2	Indicadores relativos a la emisión de residuos	.....	134
	3.3.2.1 Concentración de PM ₁₀	.....	134
	3.3.2.2 Emisión de ruido	.....	139
3.3.3	Indicadores relativos al uso modal viario	.....	144
	3.3.3.1 Coeficiente viario de reparto	.....	144
	3.3.3.2 Efecto barrera	.....	149
3.3.4	Valor ambiental global. Agregación de resultados	.....	153
	3.3.4.1 Pesos de ponderación de cada indicador	.....	153
	3.3.4.2 Normalización de cada indicador	.....	154
	3.3.4.3 Valor ambiental global del corredor	.....	158
3.4	Conclusiones	.....	162
3.4.1	Sobre el sistema de indicadores	.....	162
3.4.2	Sobre los resultados del sistema de evaluación y las transformaciones del corredor de cada alternativa	.....	165
3.4.3	Sobre la aportación del sistema de indicadores al modelo de umbrales ambientales	.....	169

Resumen

El presente capítulo aborda la propuesta de un sistema de indicadores para la evaluación del rendimiento ambiental de corredores de movilidad urbana, como primera parte del *modelo de umbrales ambientales*.

La propuesta implica varias fases metodológicas, que abarcan desde la definición de un modelo conceptual para la evaluación ambiental de la movilidad urbana, hasta su aplicación al caso de estudio del Área Metropolitana de Granada.

El sistema de evaluación consta de seis indicadores que representan diferentes dimensiones del funcionamiento ambiental de corredores de movilidad, relacionados con el uso de energía y otros recursos, la emisión de residuos o el uso modal viario del corredor. Finalmente, además de los resultados parciales obtenidos por cada indicador se ha estimado un valor agregado final representativo del rendimiento ambiental global.

Abstract

As a first part of *environmental thresholds model*, the chapter proposes an indicators system to evaluate the environmental performance of urban mobility.

The proposal is developed on methodological process, which not only covers a conceptual framework for mobility's environmental evaluation, but its application on the study case in Granada Metropolitan Area too.

The indicators system has six indicators which inform about three components of environmental performance of mobility: (i) Use of energy and other resources; (ii) Emission of wastes; (iii) Modal use of corridor. Finally, the six indicators selected are aggregated in a global performance value.

3.1 Introducción y objetivos

Tomando como referencia la estructura del *modelo de umbrales ambientales* (ver introducción general), el capítulo 3 se centra en la primera parte de éste, relativa a la propuesta de un sistema de indicadores para la evaluación del rendimiento ambiental de corredores de movilidad urbana.

Los indicadores que conforman el sistema de evaluación tienen en cuenta dos aspectos importantes:

- En primer lugar, la evaluación ambiental se realizará en términos de rendimiento y no de impacto, considerando el rendimiento como una medida de los diferentes aspectos que condicionan el funcionamiento de un sistema dado (De Borger *et al.*, 2002).
- En segundo lugar, dado que el diseño del modelo gira en torno a la evaluación ambiental de alternativas, conviene que los resultados obtenidos puedan relacionar rendimiento ambiental y capacidad transformadora de cada alternativa.

En base a este segundo aspecto, se definen cuatro bloques sobre los que estructurar el análisis y discusión de los resultados de rendimiento ambiental:

- *Coexistencia modal viaria*, que desde el punto de vista de los principios de movilidad urbana sostenible enunciados, haría referencia, tanto a la coexistencia en la sección viaria de los diferentes modos motorizados presentes en el corredor (automóvil, autobús y metro ligero), como a la coexistencia viaria entre modos motorizados y no motorizados (peatonal y en bicicleta).
- *Calidad ambiental*, orientada a la búsqueda de niveles de confort relacionados con la distribución espacial viaria y las emisiones de residuos o desechos por parte de la movilidad, de manera que se fomente un uso del corredor como espacio de estacionamiento y relación social.
- *Eficiencia ambiental*, analizando la media en qué el propio funcionamiento de la movilidad en cada alternativa, tiende a maximizar el uso de recursos y energía en base a los viajeros-km transportados.
- *Espacio público*, por un lado, vertebrador de una movilidad más sostenible en el corredor, por otro lado, instrumento para recuperar funciones de éste relacionadas con la generación de espacios de encuentro y estacionamiento.

El capítulo se compone de tres partes. La primera parte propone un sistema de indicadores, así como su desarrollo metodológico (apartado 3.2). En la segunda parte se aplica el sistema de indicadores al caso particular de dos alternativas en un corredor de movilidad del Área Metropolitana de Granada (apartado 3.3). La tercera y última parte sintetiza las principales conclusiones obtenidas a lo largo del capítulo, conjuntamente con su repercusión de cara al desarrollo del *modelo de umbrales ambientales* (apartado 3.4).

Los objetivos a alcanzar son:

- Realizar una propuesta metodológica de un sistema de indicadores para la evaluación del rendimiento ambiental de corredores de movilidad urbana.
- Aplicar el sistema de indicadores al caso particular de dos alternativas (S.0 y S.1) en un corredor de movilidad en el Área Metropolitana de Granada.
- Analizar los resultados obtenidos en relación con la capacidad transformadora de cada alternativa, tomando como referencia los siguientes cuatro aspectos: (i) Coexistencia modal viaria; (ii) Calidad ambiental; (iii) Eficiencia ambiental; (iv) Espacio público.
- Obtener conclusiones sobre la viabilidad del sistema propuesto de cara al desarrollo del *modelo de umbrales ambientales*.

3.2 Descripción metodológica del sistema de indicadores

El desarrollo del sistema de indicadores se compone de 3 fases: (i) Diseño y selección de indicadores, (ii) Agregación de resultados de cada indicador (iii) Aplicación sobre diferentes alternativas del caso de estudio. La figura 3.1 sintetiza el proceso descrito.

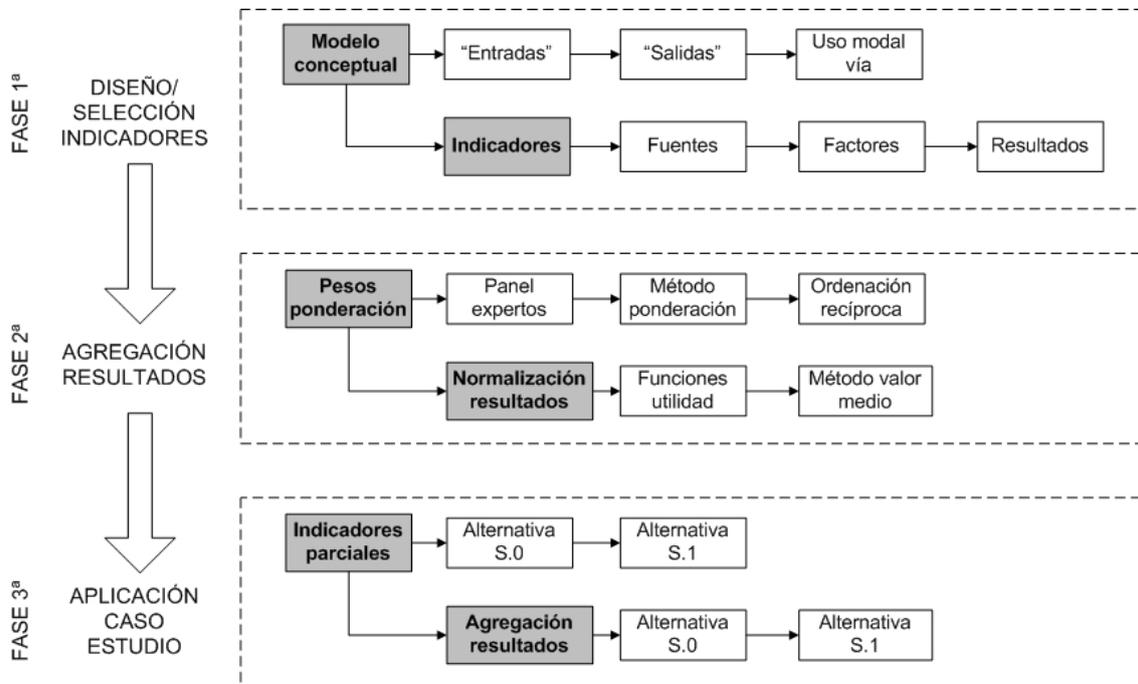


Figura 3.1. Método propuesto para el desarrollo y aplicación del sistema de indicadores.

Fuente: elaboración propia

3.2.1 Fase 1ª. Diseño y selección de indicadores

Según la definición de De Borger *et al* (2002) sobre los sistemas de evaluación del rendimiento, donde se expresa que tales sistemas deben mostrar una visión de diferentes aspectos que podrían ser tenidos en cuenta para valorar el funcionamiento de un sistema dado, el conjunto de indicadores que se propone en este apartado, debería tratar de medir distintas dimensiones relacionadas con el funcionamiento de la movilidad urbana. Por esta razón, se procederá a definir un modelo conceptual sobre el que diseñar tales indicadores, que ponga su énfasis en las externalidades negativas de la movilidad urbana a nivel ambiental.

Asumiendo de manera conceptual aquel conjunto de externalidades positivas para el ciudadano consecuencia de la movilidad urbana motorizada, por ejemplo, las derivadas de la reducción del tiempo-distancia, la diversidad de modos de acceso a un determinado lugar, etc., dicha movilidad también presenta una serie de externalidades negativas a nivel ambiental, que constituyen el núcleo central de la evaluación. De esta forma, el sistema de indicadores se desarrollará sobre los tres aspectos siguientes (ver figura 3.2):

- a) *Uso de energía y otros recursos (“Entradas”)*. La movilidad como proceso requiere del uso de energía y otros recursos para su funcionamiento. En este caso particular, los recursos no energéticos serán considerados a nivel del suelo utilizado por la movilidad motorizada.
- b) *Emisión de residuos (“Salidas”)*. Considerada la movilidad como proceso ineficiente, es inevitable la liberación al medio de distintos tipos de residuos o desechos. Consecuencia de que el corredor transita mayoritariamente por suelo urbano consolidado, este bloque abordará aquellas emisiones de la movilidad con efecto sobre la salud pública y calidad del aire local.
- c) *Uso modal viario*. Donde se tratará de valorar el tipo de uso al que se orientan los diferentes tramos del corredor, respecto de una movilidad que promocióne en mayor o menor medida flujos no motorizados.

En consecuencia, se proponen 6 indicadores relacionados con cada uno de los tres bloques previamente mencionados. Los indicadores se recogen en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Indicadores propuestos y unidades de medida

MODELO CONCEPTUAL	INDICADORES	UNIDADES
"Entradas"	Eficiencia energética de la movilidad	MJ/viajero-Km
	Eficiencia superficial de la movilidad	m ² vía/viajero-Km
"Salidas"	Concentración de PM 10	µgr/m ³
	Emisión de ruido (Lden)	dB(A)
Uso modal viario	Coeficiente viario de reparto	m ² calzada/m ² acera
	Efecto barrera	EB/m vía

Fuente: elaboración propia

La figura 3.2 muestra los diferentes factores que componen cada una de las alternativas del corredor, su influencia sobre los indicadores propuestos, conjuntamente con el nivel de interacción respecto del modelo conceptual previamente descrito.

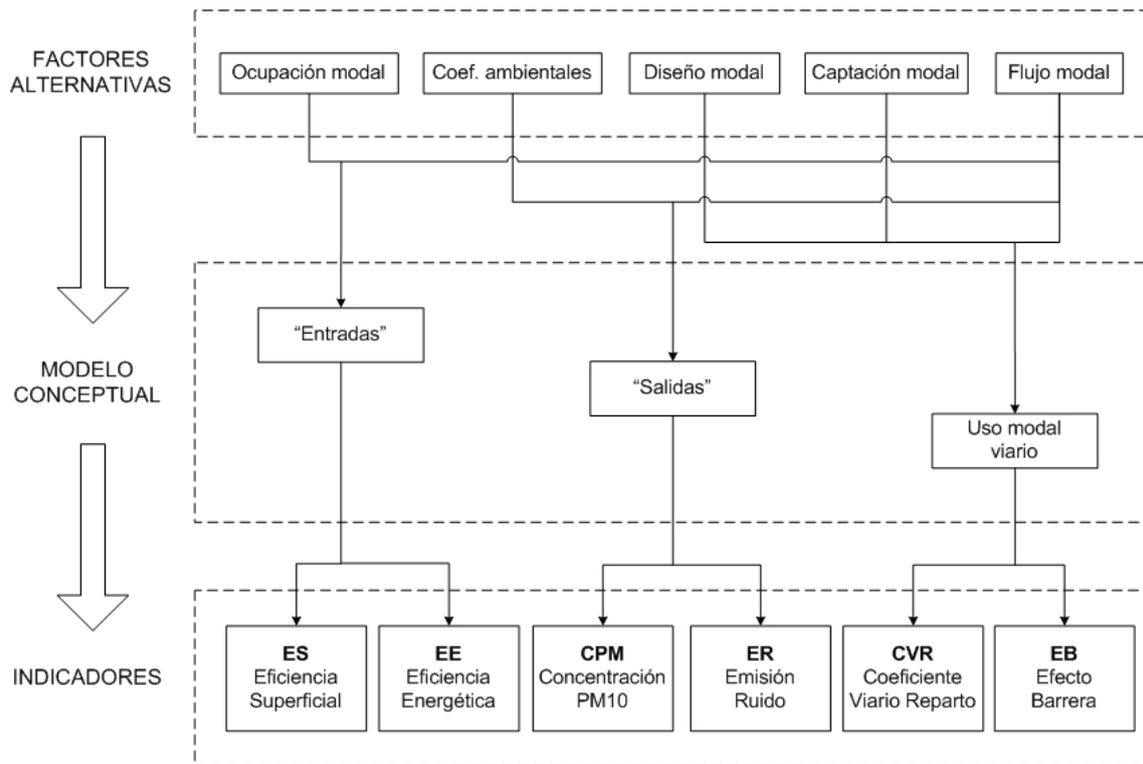


Figura 3.2. Relación entre factores de cada alternativa, modelo conceptual de evaluación e indicadores propuestos. Fuente: elaboración propia

3.2.1.1 Indicadores relativos al uso de energía y otros recursos

Tal y como se ha indicado en la tabla 3.2, los indicadores que componen este bloque son la eficiencia energética y la eficiencia superficial de la movilidad urbana.

El primero de los indicadores propuestos, relativo a la **eficiencia energética de la movilidad urbana (EE)**, expresa los megajulios (MJ) utilizados por viajero-Km en cada una de las alternativas que se evalúan. El indicador se expresa como:

$$EE_s = \frac{\sum_j C_j f_{sj}}{V_s}$$

Donde EE_s hace referencia a la eficiencia energética de cada una de las alternativas S en MJ/viajero-Km, C_j es un coeficiente de consumo energético por cada modo de transporte j y Km recorrido, f_{sj} expresa el flujo de vehículos diarios de cada modo de transporte j y para cada alternativa S . Finalmente, el denominador V_s indica el número total de viajeros transportados para cada alternativa S en el espacio temporal de un día.

En el caso particular del vehículo privado como modo de transporte, se ha distinguido entre vehículos diesel y vehículos de gasolina debido a las diferencias de consumo energético existentes entre unos y otros. Como aproximación para estimar qué flujo de vehículos privados diarios circulan en el corredor respecto de los dos tipos existentes (diesel o gasolina), se han utilizado los datos recogidos en el Instituto de Estadística de Andalucía (IEA), relativos al parque móvil para los municipios que integran el corredor con fecha de 2008 (último registro temporal disponible).

Tabla 3.2. Distribución de vehículos diesel y vehículos de gasolina en los municipios del corredor

	Turismos Gasolina	Turismos Diesel	% Gasolina	% diesel
Albolote	3638	4842	42,90	57,10
Armillá	4513	4871	48,09	51,91
Granada	67784	54303	55,52	44,48
Maracena	4417	4802	47,91	52,09
Total	80352	68818	53,86	46,14

Fuente: elaboración propia a partir del Instituto de Estadística de Andalucía (IEA), 2008.

Los coeficientes de consumo energético modal¹ (C_j) utilizados en cada modo de transporte pueden ser consultados en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Coeficientes de consumo energético modal (C_j)

Modo	Coficiente (C_j), MJ/veh-Km
Coche (gasolina)	2,79
Coche (diesel)	2,32
Autobús	13,2
Metro ligero	42

Fuente: elaboración propia a partir de EC (2010) y Van Essen *et al* (2003)

Los resultados de este indicador hacen referencia al nivel de consumo energético en MJ/viajero-km, lo que será indicativo del grado de afección ambiental de cada alternativa evaluada en relación con dimensiones ambientales de carácter global, por ejemplo, el cambio climático, a través de la posible conversión de los resultados obtenidos en gramos equivalentes de CO₂ (EC, 2010).

El segundo de los indicadores propuestos en este apartado respecto al uso de energía y otros recursos, es relativo a la **eficiencia superficial de la movilidad urbana (ES)**.

$$ES_s = \frac{\sum_j S_{sj}}{V_s}$$

Donde ES_s hace referencia a la eficiencia superficial en m²/viaj-km de cada una de las alternativas S , S_{sj} expresa la superficie de vía en m²/km de cada modo de transporte j y para

¹ Los coeficientes modales de consumo energético han sido obtenidos a partir de los informes: EC (2010): "European Union: Energy and Transport. Statistical Pocketbook" y Van Essen *et al* (2003): "To shift or not to shift, that's the question. The environmental performance of freight and passenger transport modes in the light of policy making". Para su estimación han sido considerados tanto las proyecciones realizadas en base al año 2010 en tales informes, así como, datos particulares sobre la flota de transporte público del corredor.

cada alternativa S . Finalmente, el denominador V_s indica el número total de viajeros transportados para cada alternativa S en el espacio temporal de un día.

Los resultados de este indicador harán referencia a la cantidad de espacio viario en m^2 utilizados para transportar un viajero-km en modos motorizados en cada una de las alternativas. A diferencia de la eficiencia energética, este indicador ofrece resultados que son reveladores del impacto local de la movilidad en el corredor.

3.2.1.2 Indicadores relativos a la emisión de residuos

Han sido seleccionados 2 indicadores representativos de la potencial afección a la salud pública y calidad del aire local: (i) Concentración de PM_{10} ; (ii) Nivel de emisión de ruido.

Comenzando por la **concentración de PM_{10} (CPM_{10})**, su elección frente a otros posibles contaminantes atmosféricos derivados de la movilidad, tales como NO_x , SO_x , etc., se debe fundamentalmente a que uno de sus principales focos de emisión es el tráfico motorizado (coches y autobuses), conjuntamente con su fuerte carácter nocivo para la salud pública respecto de otros contaminantes atmosféricos. En este sentido, el tracto respiratorio humano no es capaz de retener partículas sólidas de tamaños menores a $10 \mu m$, pudiendo ocasionar daños a corto plazo como agravamientos de asma o favorecer enfermedades cardiovasculares, mientras que una exposición continuada puede suponer el desarrollo de enfermedades respiratorias crónicas, cáncer e incluso muerte prematura (Duffus, 1983) (Lippmann, 2009). De ahí, que las diferentes instituciones a nivel europeo, estatal y regional (andaluz) hayan regulado valores límites de exposición en el medio urbano para este tipo de contaminante², a la vez que se ha ido imponiendo como indicador de referencia a la hora de evaluar la calidad ambiental atmosférica de vías urbanas (EC, 2010).

Dado que el corredor transcurre en un 90% por suelo urbano consolidado (ver capítulo 2) el método seleccionado para estimar la concentración de PM_{10} será el modelo “*street canyon*” recomendado por la Agencia Europea de Medio Ambiente³. Este modelo establece que la concentración de contaminante se exprese como:

$$CPM_{10} = \frac{1}{2} [C_1(\text{barlovento}) + C_2(\text{sotavento})]$$

donde:

$$C_1(\text{Barlv.}) = \frac{KN_j q_j / 3,6}{(u + 0,5)[(x^2 + z^2)^{0,5} + 2]}$$

² En el Capítulo 4 relativo a la estimación de umbrales ambientales para la movilidad del corredor, se aborda con detalles lo relativo a la regulación de valores límites para el caso específico de PM_{10} por parte de las diferentes instituciones europeas, estatales y regionales (Andalucía).

³ Para ampliar información en relación con los modelos de dispersión y concentración de contaminantes atmosféricos recomendados y propuestos por la Agencia Europea de Medio Ambiente, consultar el siguiente enlace web: <http://www.eea.europa.eu/publications/TEC11a/page014.html>.

$$C_1(\text{Sotav.}) = \frac{KN_jq_j/3,6}{W(u + 0,5)}$$

donde:

- C_1 , concentración de PM_{10} en $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
- N_j , expresa el flujo de tráfico para cada modo de transporte (coche o autobús) en veh/h
- q_j , hace referencia a un factor de emisión de PM_{10} en gr/Km para cada modo de transporte j . Los factores de emisión considerados son: 0,05 gr PM_{10} /Km para coches y 0,19 gr PM_{10} /Km para autobús. Tales factores de emisión son recopilados de las proyecciones estimadas para 2010 en Van Essen *et al* (2003)
- u , es la velocidad del viento a la altura del tejado. Se ha considerado una velocidad de 1,86 m/s obtenida a partir de la estación meteorológica del Aeropuerto Federico García Lorca, localizado aproximadamente a 14 km de los municipios que conforman el caso de estudio.
- W , es la anchura de la calle en metros.
- x , es la distancia entre la edificación y el foco contaminante en metros. Se ha considerado la distancia de aceras a este efecto.
- z , es la altura en metros desde el punto receptor (fachada de la edificación) y el flujo de tráfico, para lo que ha sido considerado la altura de los edificios que integran el corredor.
- K , es una constante ($K = 7$).

La aplicación del modelo distingue entre automóviles y autobuses públicos, aunque muestra un único valor de concentración contaminante. Los resultados se expresan en $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ e informan de manera directa sobre los niveles de concentración de PM_{10} en la sección viaria del corredor.

El segundo de los indicadores utilizados para medir la emisión de residuos como consecuencia de la movilidad en el corredor es el **nivel de ruido (ER)**. Al igual que en el caso anterior, la elección del ruido como parámetro para valorar la emisión de residuos por parte de la movilidad se debe fundamentalmente a dos cuestiones, la primera, consecuencia de que la principal fuente de ruido en el medio urbano es el tráfico motorizado, la segunda, por su incidencia en la salud pública. Respecto a este segundo aspecto, es importante destacar que el daño a la salud humana consecuencia del ruido es dependiente de la sensibilidad de cada individuo o del propio tipo de ruido. En este sentido, conviene indicar que algunos de los problemas asociados a este contaminante están vinculados a pérdidas de audición, aumento de la irritabilidad, fatiga e incluso posibles reacciones alérgicas (Gil-Carcedo *et al.*, 2008).

La estimación de los niveles de ruido se realizará a partir de la toma de muestras de campo⁴, conjuntamente con la utilización de diferentes modelos de estimación de ruido recomendados en la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de Junio de 2002 relativa a la “Evaluación y gestión del ruido ambiental”. En esta directiva europea se propone la utilización de los siguientes métodos:

- *Tráfico rodado*: el método nacional de cálculo francés “NMPB-Routes-96”, mencionado en el “*Arrete du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routieres, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6*”
- *Ruido de trenes*: el método nacional de cálculo de los Países Bajos, publicado en “*Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawai 96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 Bivenber 1996*”

El segundo de los modelos relativos al ruido en trenes establece niveles de ruido en base a determinadas características del vehículo como su capacidad, potencia, etc. Respecto del modelo utilizado para el tráfico rodado (principal fuente emisora de ruido), la expresión utilizada para estimar los niveles de emisión sonora está condicionado por el tipo de sección de vía, ya sea una sección en U o L. De esta forma, el modelo de estimación se expresa como:

para tramos del corredor con sección en L:

$$LA_{eq} = -4 + 53 + 10\log(N_l + EN_p) - 10\log(a) + K_h + K_v$$

para tramos del corredor con sección en U:

$$LA_{eq} = 53 + 10\log(N_l + EN_p) - 10\log(a) + K_h + K_v$$

donde:

- N_l , hace referencia a la intensidad horaria de vehículos ligeros
- N_p , hace referencia a la intensidad horaria de vehículos pesados. En este punto han sido considerados exclusivamente los autobuses públicos, dada la ausencia de información para conocer con exactitud la composición del parque móvil que transcurre por el corredor
- E , es un factor de equivalencia acústica en base a la pendiente. En el caso particular del corredor el valor utilizado ha sido $E = 10$
- K_h , es un factor de corrección acústica por altura, que en el caso del corredor es cero
- K_v , es un factor de corrección acústica por velocidad, que en el caso del corredor es cero

⁴ Esta información puede ser ampliada en el Capítulo 2 relativo al ámbito de estudio, metodología general de la investigación y fuentes de información utilizadas.

Los resultados del modelo se expresan en dB(A) e informa del nivel de emisión sonora para la franja horaria en la que se aplica el modelo, en este caso, a nivel diario.

3.2.1.3 Indicadores relativos al uso modal viario

Para este bloque se proponen dos indicadores: el coeficiente viario de reparto (CVR) y el efecto barrera (EB).

El primero de los indicadores propuestos es el **coeficiente viario de reparto (CVR)**, que valora la distribución del espacio viario respecto de la movilidad no motorizada. Este indicador se expresa como:

$$CRV_s = \frac{C_s}{P_s}$$

Donde C_s hace referencia a la superficie total del tramo en cada alternativa S , expresada en m^2 , mientras que P_s hace referencia a la superficie destinada a modos no motorizados (peatón y bicicleta), expresada también en m^2 .

Cuanto más próximo a 1 sea el resultado del indicador, más espacio destinado a modos no motorizados existe en el corredor.

El segundo de los indicadores propuestos en este bloque es el **efecto barrera (EB)**. Dado que unos de los principales efectos positivos que se atribuyen en la literatura especializada a la implantación de sistemas de metro ligero, está relacionado con su elevado nivel de coexistencia con peatones y modos no motorizados (Priemus y Konings, 2001) (Hass-Klau *et al.*, 2003), lo que permite que los ciudadanos puedan usar más libremente la sección viaria (para cruzar, estacionamiento, etc.), medir la impedancia para peatones que existe en cada alternativa del corredor respecto de la ordenación viaria de éste, se convierte en un aspecto importante a considerar en la investigación.

A diferencia de otras propuestas para medir el efecto barrera de una determinada infraestructura, por ejemplo, en relación con el tiempo que tarda un peatón en poder cruzar una vía determinada, o el efecto ecológico ocasionado por una nueva infraestructura sobre el espacio natural (INFRAS, 2000) (Maibach *et al.*, 2008), en esta investigación el efecto barrera viene a expresar la impedancia viaria existente para peatones, consecuencia de la ordenación modal del corredor. El indicador se expresa como⁵:

$$EB_s = \left[\left[\sum_j c_j f_j \right] W_s \right] / 100$$

Donde c_j hace referencia al número de carriles destinados a un determinado modo de transporte j en cada alternativa s , f_j expresa el flujo de vehículos de cada modo de transporte j en cada alternativa S expresada en veh/min, y W_s hace referencia a la anchura de la calzada

⁵ Dado que las principales características que se evalúan de cada alternativa tienen que ver con el efecto que puede ejercer la ordenación viaria sobre la movilidad no motorizada del corredor, se ha optado por medir el efecto barrera en base a los siguientes tres elementos: (i) Dotación de espacio para cada modo de transporte; (ii) Frecuencia modal de circulación; (iii) Espacio viario destinado a la calzada.

para cada alternativa *S* expresada en metros. Los resultados del indicador serán expresados como efecto barrera por metro de calzada (EB/m).

3.2.2 Fase 2ª. Agregación de resultados

La segunda etapa metodológica está vinculada a la obtención de un resultado agregado de todos los indicadores, representativo del rendimiento ambiental global del corredor. Para ello, se proponen las siguientes tres etapas:

- a) *Ponderación*, referente a la obtención de pesos de ponderación para cada uno de los indicadores previamente descritos. Para ello se ha llevado a cabo la realización de un panel de expertos y la aplicación del método de ordenación recíproca.
- b) *Normalización* de los resultados de cada indicador como paso previo a su agregación. Dicha normalización se llevará a cabo a partir de la estimación de funciones de transformación o utilidad a través del método del valor medio.
- c) *Agregación final* de los resultados, para lo que será utilizado un método de selección multiatributo basado en las ya mencionadas funciones de transformación o utilidad.

3.2.2.1 Obtención de pesos de ponderación

Como método para estimar la relevancia de cada indicador se ha realizado un panel de expertos relacionados con el proyecto de metro ligero del Área Metropolitana de Granada⁶, para en segundo lugar y partir del panel realizado estimar los pesos de ponderación de cada indicador utilizando el método de ordenación recíproca (Malczewski, 1999).

El uso de métodos de consulta a expertos puede ser un instrumento de gran utilidad en el campo de la movilidad urbana (Shiftan *et al.*, 2003) (Landeta, 2006), de ahí que haya sido seleccionado como proceso operativo para la obtención de tales pesos de ponderación. El diseño metodológico del panel implica las siguientes fases:

- *Elaboración del tipo de consulta*, que en este caso particular ha consistido en solicitar a cada experto que ordene según su criterio cada uno de los 6 aspectos que miden los indicadores previamente descritos: (i) Energía consumida por viajero transportado; (ii) Espacio viario usado por viajero transportado; (iii) Concentración de contaminantes atmosféricos con incidencia en la salud pública y calidad del aire local; (iv) Emisión de ruido; (v) Espacio destinado a la movilidad no motorizada y; (vi) permeabilidad de la vía para el peatón.

⁶ El panel de expertos se realizó en el marco del convenio de investigación: “El Metropolitano de Granada como instrumento de innovación, calidad y sostenibilidad urbana” financiado por la empresa pública Ferrocarriles de Andalucía. REF: COPT-FERRO. Fecha: Septiembre 2009 – Septiembre 2011

- *Selección de participantes del panel.* Fueron seleccionados un total de 50 participantes, que atendiendo a su experiencia fueron distribuidos en los siguientes cuatro grupos profesionales:
 - Planificadores de infraestructuras y movilidad (10 participantes)
 - Consultores y especialistas (12 participantes)
 - Investigadores (12 participantes)
 - Planificadores urbanísticos y ambientales (16 participantes)

Una vez obtenidas las respuestas de los expertos se procede a estimar el peso de cada uno de los indicadores en base al método de ordenación recíproca y a través de la siguiente expresión (Malczewski, 1999) (Gómez y Barredo, 2005):

$$w_j = \frac{1/r_j}{\sum(1/r_k)}$$

Donde w_j es el peso normalizado para el indicador j , r_j es el orden de posición de cada indicador en base a la respuesta de los expertos, mientras que r_k hace referencia al valor acumulado de orden basado en tales respuestas.

3.2.2.2 Normalización de los indicadores

El objetivo de este apartado es normalizar los resultados de cada indicador, primero para hacerlos comparables y, en segundo lugar, para que sea posible su agregación. El método seleccionado para dicha normalización se basa en la obtención de una función de transformación o utilidad para cada indicador, que son las que “transforman” los resultados del indicador en un valor normalizado “útil” para la agregación.

Para estimar dicha función de transformación se ha utilizado el método del “valor medio”, que implica los siguientes pasos:

- Determinar el rango de valores sobre el que se va a calcular la función de utilidad, de tal manera que al valor máximo se le otorga el valor normalizado 1 y al valor mínimo el valor normalizado 0.
- Estimar el valor medio del rango de valores, dándole un valor normalizado de 0,5.
- Entre los dos intervalos previamente calculados se van estimando valores medios y otorgando el valor normalizado correspondiente. De manera que cuantos más puntos sean calculados, mayor precisión tendrá la función de transformación o utilidad.

3.2.2.3 Obtención de un valor agregado

Una vez están normalizados los resultados de todos los indicadores, se puede proceder a su agregación. Para ello se utilizará un sistema de elección multiatributo basado en las funciones de transformación o utilidad previamente calculadas para cada indicador (Malczewski, 1999).

De esta forma, la agregación de tales resultados se expresa a través de la siguiente expresión:

$$U_s = \sum_j w_j u_{sj}$$

Donde U_s hace referencia al valor ambiental global para la alternativa S , que será inversamente proporcional a su nivel de rendimiento ambiental, w_j expresa el peso de ponderación estimado para cada indicador j . Finalmente, u_{sj} equivale al valor normalizado de cada indicador j para cada alternativa S .

3.2.3 Fase 3ª. Aplicación al caso de estudio

La aplicación al caso particular de estudio implica la estimación del rendimiento ambiental de dos posibles alternativas, una primera alternativa (alternativa S.0) que sería mantener el corredor como se encontraba en el año 2008 (año base t_0), y una segunda alternativa que sería la resultante de ejecutar el proyecto de implantación del sistema de metro ligero "Metropolitano" de Granada (alternativa S.1).

Tal y como se recoge en el capítulo 2 relativo al caso de estudio, con el fin de sistematizar la aplicación del *modelo de umbrales*, el corredor y cada una de sus alternativas han sido divididos en 25 tramos (ver figura 3.3).

La aplicación del sistema de indicadores al caso de estudio, se realizará siguiendo una lógica comparativa que analice los cambios que introduce la alternativa S.1, respecto de la alternativa S.0.

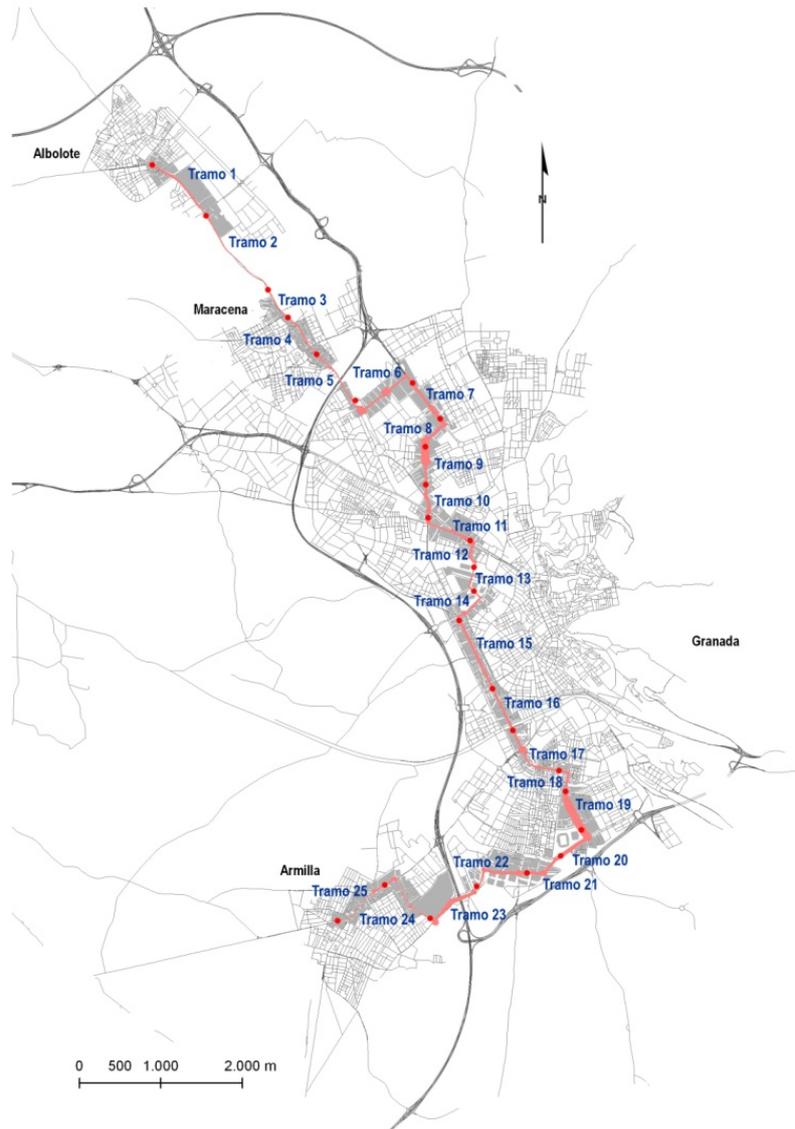


Figura 3.3. Tramos del corredor para la evaluación de alternativas. Fuente: elaboración propia

3.3 Sistema de indicadores y comparación ambiental de alternativas

En este apartado se aplicará paso a paso el método previamente descrito, realizando un análisis de los resultados obtenidos a nivel parcial para cada uno de los 6 indicadores propuestos, conjuntamente con la agregación de sus resultados en un valor global final.

3.3.1. Indicadores relativos al uso de energía y otros recursos

3.3.1.1. Eficiencia energética de la movilidad urbana

La **eficiencia energética de la movilidad urbana (EE)** hace referencia a los MJ/Viaj-Km de cada una de las dos alternativas consideradas. Por lo tanto, cuanto mayor sean los MJ utilizados por cada viajero-Km, más bajo será el rendimiento ambiental de la alternativa en evaluación. La tabla 3.4 muestra los resultados obtenidos por alternativa y tramo.

Tabla 3.4. Eficiencia energética de la movilidad por alternativa (S.0 y S.1) y tramo

EFICIENCIA ENERGÉTICA (MJ/viaj-Km)					
Tramos	S.0	S.1	Tramos	S.0	S.1
1	0,61	0,77	14	0,79	0,58
2	0,75	0,46	15	0,79	0,78
3	0,80	0,54	16	0,68	0,69
4	0,80	0,41	17	0,59	0,61
5	0,69	0,32	18	0,76	0,68
6	1,22	0,81	19	0,81	0,63
7	0,81	0,61	20	0,57	0,43
8	1,15	0,52	21	0,54	0,39
9	1,53	0,91	22	0,79	0,57
10	0,69	0,55	23	2,36	0,97
11	0,49	0,38	24	1,04	0,76
12	0,52	0,36	25	1,04	0,79
13	0,13	0,17			

Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009), EC (2010) y Van Essen *et al* (2003)

En promedio para el total de tramos (ver tabla 3.4), la alternativa S.1 tiene una mayor eficiencia energética que la alternativa S.0. Esto se puede apreciar en el valor medio de los MJ consumidos por viajero-kilometro del corredor, cuyos valores son de 0,83 MJ/viaj-Km en la alternativa S.0 y de 0,58 MJ/viaj-Km en la alternativa S.1.

Analizando las variaciones existentes de MJ/viaj-Km entre las alternativas evaluadas (S.1 respecto de S.0) y tramos, respecto de los diferentes bloques estructurantes descritos en la introducción del capítulo (coexistencia viaria, eficiencia ambiental, calidad ambiental y espacio público), se pueden apreciar los siguientes patrones de cambio entre alternativas:

- A nivel de coexistencia modal viaria, los resultados obtenidos dejan ver que aquellos tramos donde se produce un incremento de los MJ/viaj-Km en la alternativa S.1 respecto de la S.0, están asociados con sectores del corredor donde los niveles de coexistencia modal viaria permanecerían prácticamente inalterados entre ambas alternativas.
- En relación con los niveles de eficiencia ambiental, los resultados indican una alta correlación con los viaj-Km previstos en ambas alternativas, dejando ver que los cambios de ordenación modal propuestos en éstas, son menos relevantes a nivel de eficiencia energética que la previsión de viajeros transportados.
- En lo que tiene que ver con el espacio público, se detecta que existe un bajo nivel de correlación entre las intervenciones realizadas en el espacio público y su reflejo en el consumo energético por viajero-km transportado.

- Finalmente, aclarar que para este indicador no se analizará el bloque relativo a calidad ambiental, ya que, por el enfoque de la investigación, ésta se encuentra más relacionada con aspectos relativos al uso modal del espacio viario, conjuntamente con la emisión de residuos por parte de la movilidad del corredor, de ahí que tenga un mayor protagonismo en otros indicadores sobre los que se profundizará posteriormente.

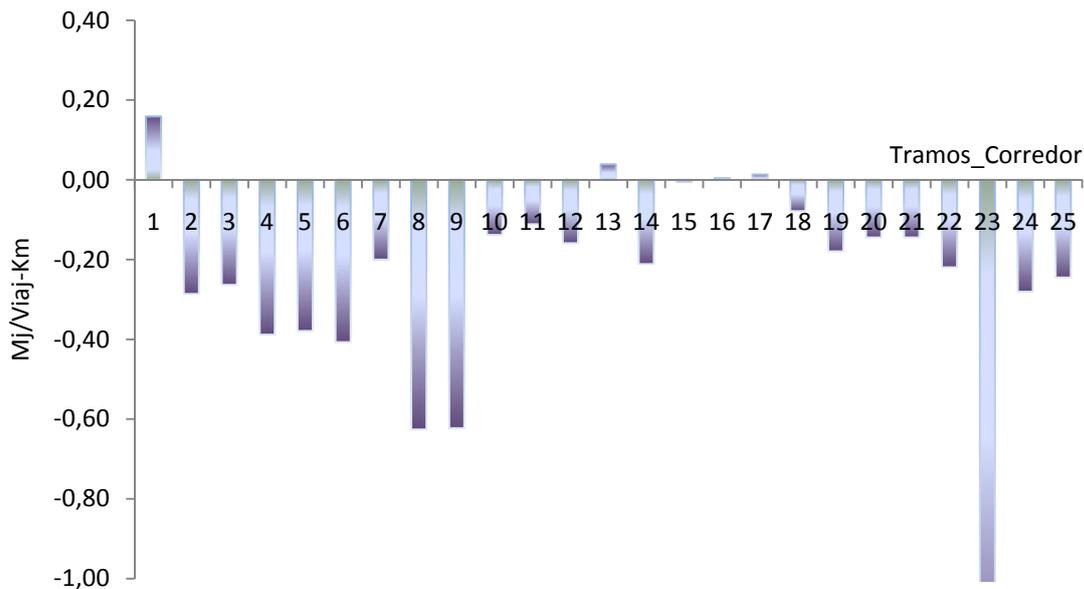


Figura 3.4. Variación de MJ/viaj-Km en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 en cada tramo del corredor. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009), EC (2010) y Van Essen *et al* (2003)

Aquellos tramos que poseen un incremento o mantienen constante los MJ/viaj-Km utilizados en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, están asociados mayoritariamente a tramos del corredor donde apenas existen variaciones en los niveles de coexistencia modal viaria entre las alternativas evaluadas. Este es el caso de los tramos centrales del corredor, tramos 15, 16 y 17 entre las paradas Méndez Núñez e Hípica, donde el sistema de metro ligero transcurre en subterráneo. La figura 3.5 muestra el porcentaje de reparto modal viario de la superficie del corredor en cada uno de los tres tramos mencionados. Según se puede comprobar, el reparto modal de la sección viaria posee cambios muy pequeños, especialmente en el espacio peatonal y del automóvil, sin dar cabida –con excepción puntual de la bicicleta en algunas partes de los tramos 16 y 17- a otros modos de transporte, situación exclusiva de este sector del corredor respecto del resto de tramos, consecuencia del tránsito subterráneo del sistema de metro ligero. Así, el consumo energético en MJ/viaj-Km se mantiene constante entre ambas alternativas en el caso de los tramos 15 y 16, mientras que aumenta ligeramente en la alternativa S.1 (0,61 MJ/viaj-Km) respecto de la S.0 (0,59 MJ/viaj-Km) en el tramo 17.

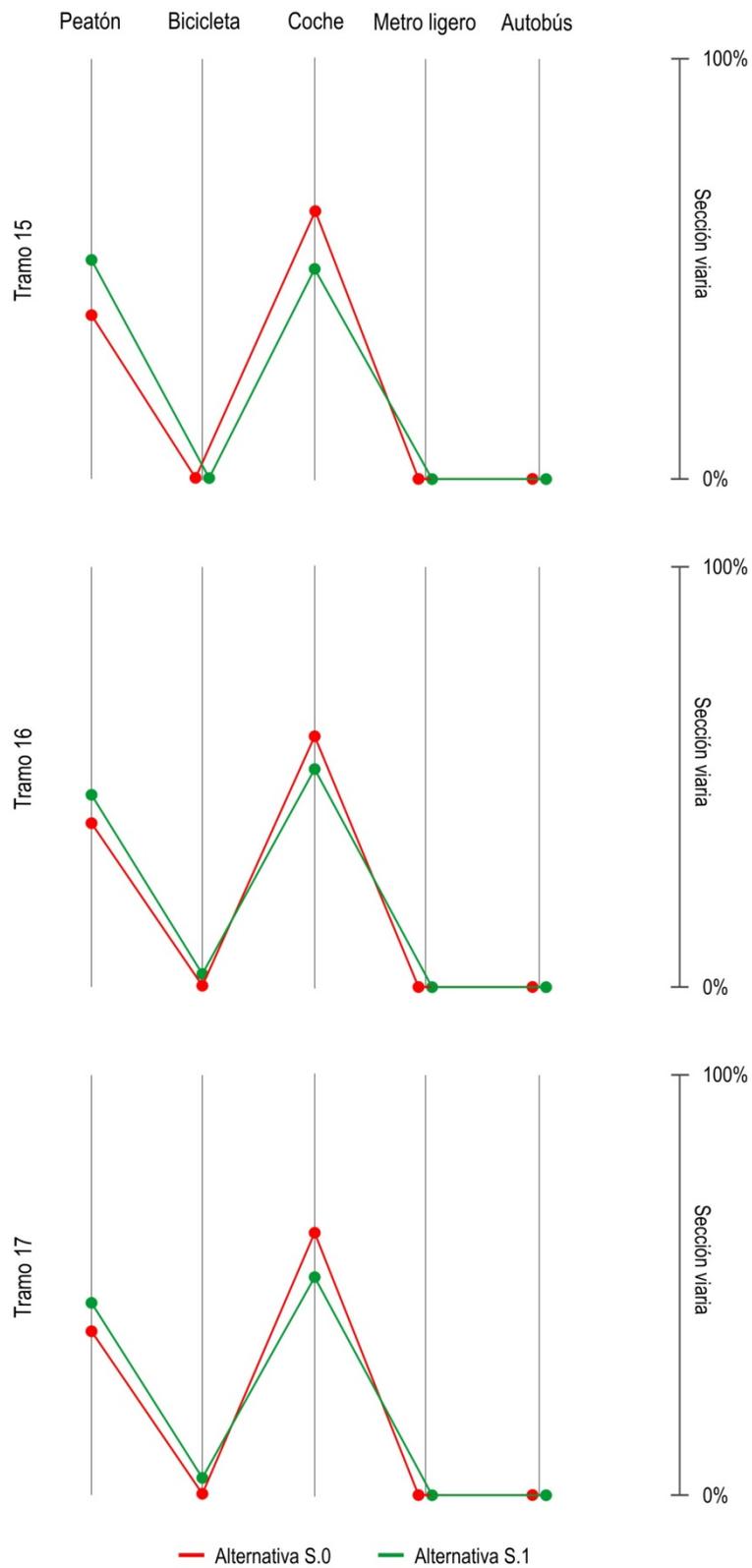


Figura 3.5. Reparto modal de la sección viaria en la alternativa S.0 y en la alternativa S.1. Tramos 15, 16 y 17. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009)

En lo referente a la eficiencia ambiental, los resultados obtenidos identifican una alta correlación entre la previsión de viajeros-km transportados en cada alternativa y los MJ/viaj-Km utilizados, más allá, por ejemplo, de la incidencia que podría tener en el consumo energético la ordenación modal del espacio viario. De esta forma, pueden ser identificados diferentes intervalos de previsión de viaj-km en cada alternativa, que condicionan el nivel de eficiencia energética de cada tramo (ver figura 3.6):

- En aquellos casos en los que se produce una disminución de los viajeros-km transportados en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, se tiende sistemáticamente a mantener constantes los MJ/viaj-Km entre alternativas o incluso el aumento de ellos, lo que es significativo de la escasa capacidad que muestra la alternativa S.1 en relación con la eficiencia energética de la movilidad urbana, para solventar a través de la ordenación y gestión modal de la vía las posibles variaciones en la población transportada. Un buen ejemplo de esta situación es el tramo 1 del corredor entre las paradas Jacobo Camarero y Juncaril.
- Aquellos tramos que incrementan sus viajeros-Km hasta un máximo de un 30% en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, poseen un valor promedio de reducción del consumo energético de la movilidad en torno a 0,25 MJ/viaj-Km. Algunos ejemplos significativos son los tramos 3, 5 y 6 del corredor.
- Finalmente, los tramos que incrementan sus viajeros-Km por encima del 30% en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, alcanzan en todos los casos reducciones del consumo energético por encima de 0,5 MJ/viaj-Km. Esta situación se puede ver en los tramos 8, 9 y 23.

En cuanto al espacio público como último bloque estructurante sobre el que canalizar y argumentar las principales transformaciones del corredor, los resultados obtenidos no muestran patrones de variación tan evidentes como en los casos anteriores (ver figura 3.7). Únicamente se percibe, que todos aquellos tramos cuyo espacio público se ha incrementado por encima de un 30% en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, poseen reducciones en los MJ/viaj-Km consumidos, este es el caso de los tramos 12, 24 o 25. Por el contrario, cuando las variaciones del espacio público entre alternativas son inferiores al 30%, las variaciones de MJ/viaj-Km son particulares en cada caso, sin seguir ninguna lógica que destacar.

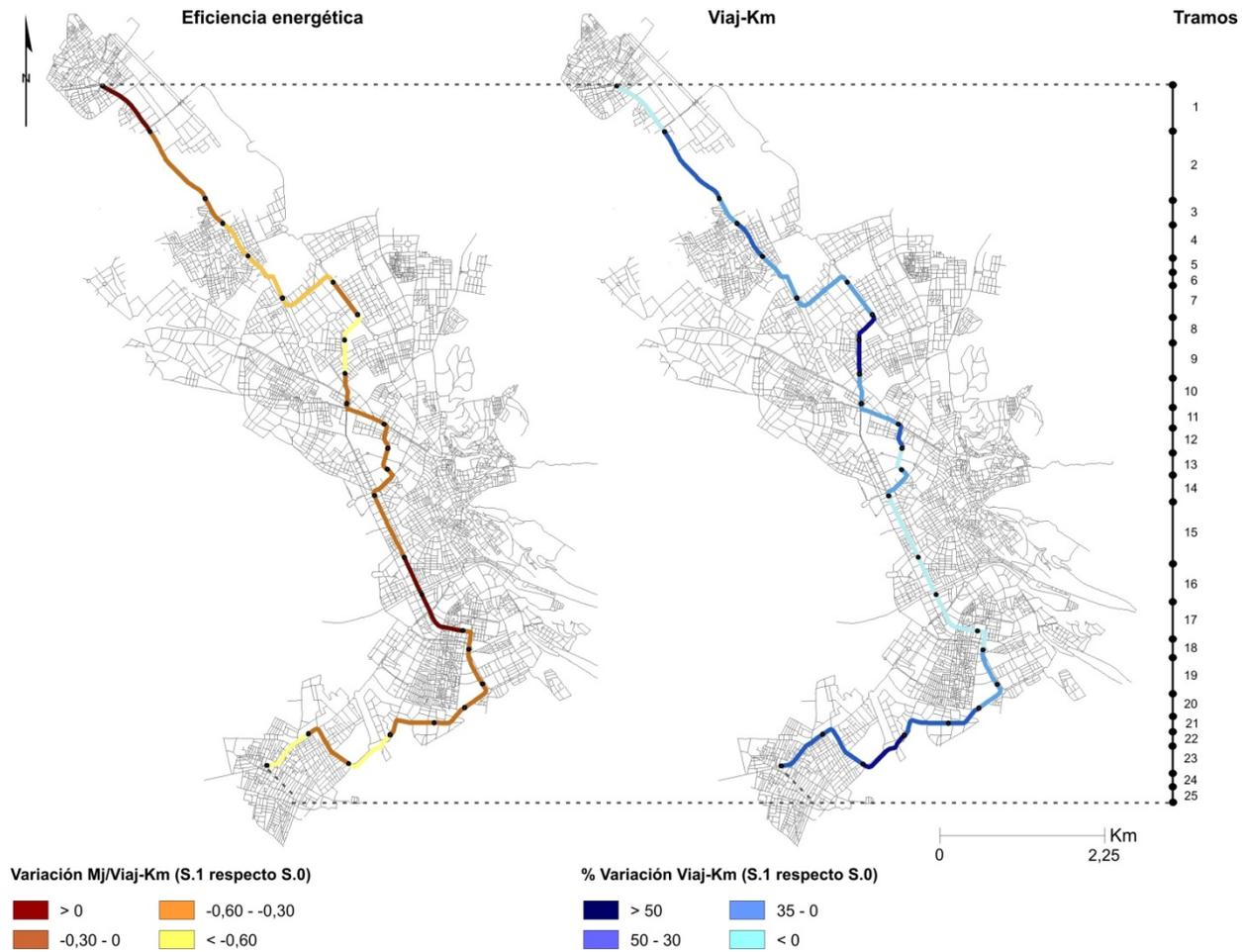


Figura 3.6. Variación de MJ/viaj-Km y variación porcentual de viajeros-Km transportados (alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0). Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009), EC (2010) y Van Essen *et al* (2003)

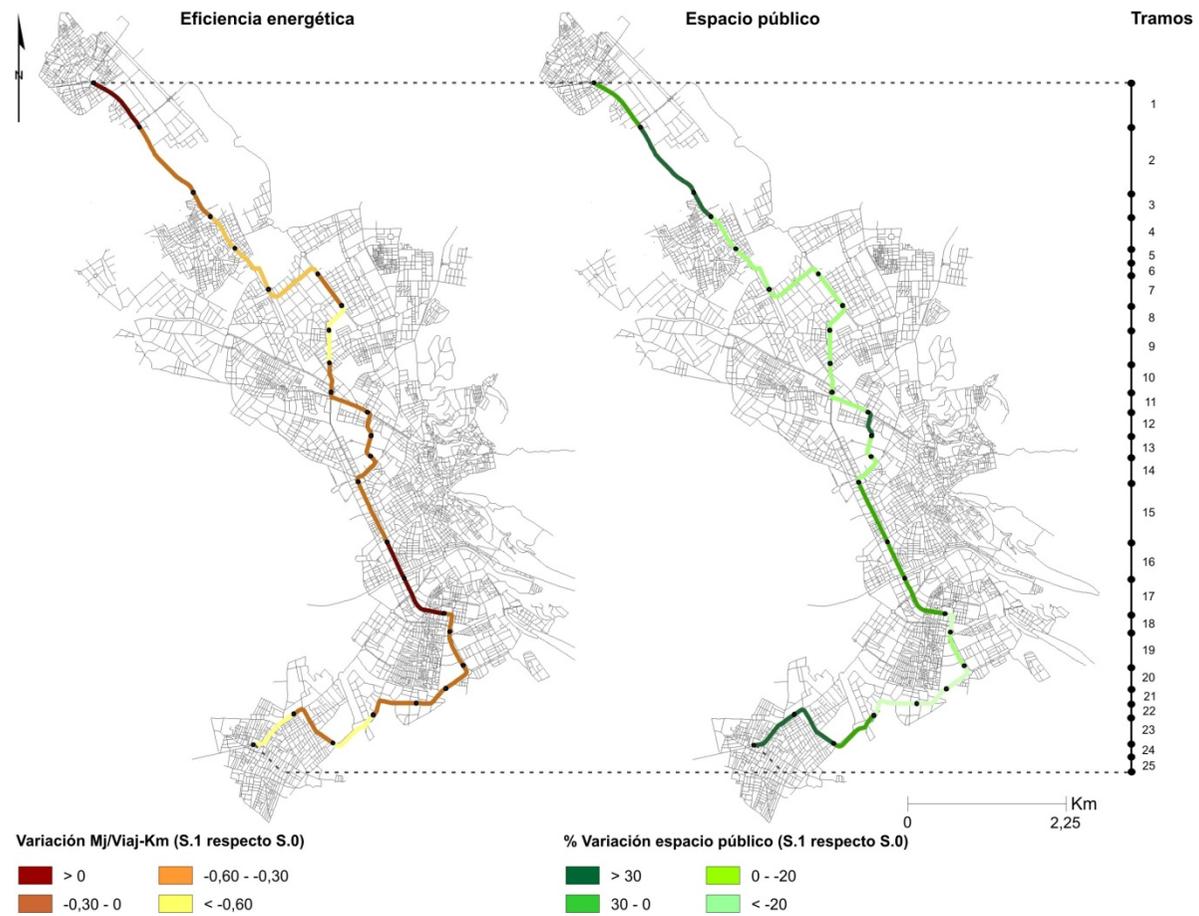


Figura 3.7. Variación de MJ/viaj-Km y variación porcentual del espacio público (alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0). Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009), EC (2010) y Van Essen *et al* (2003)

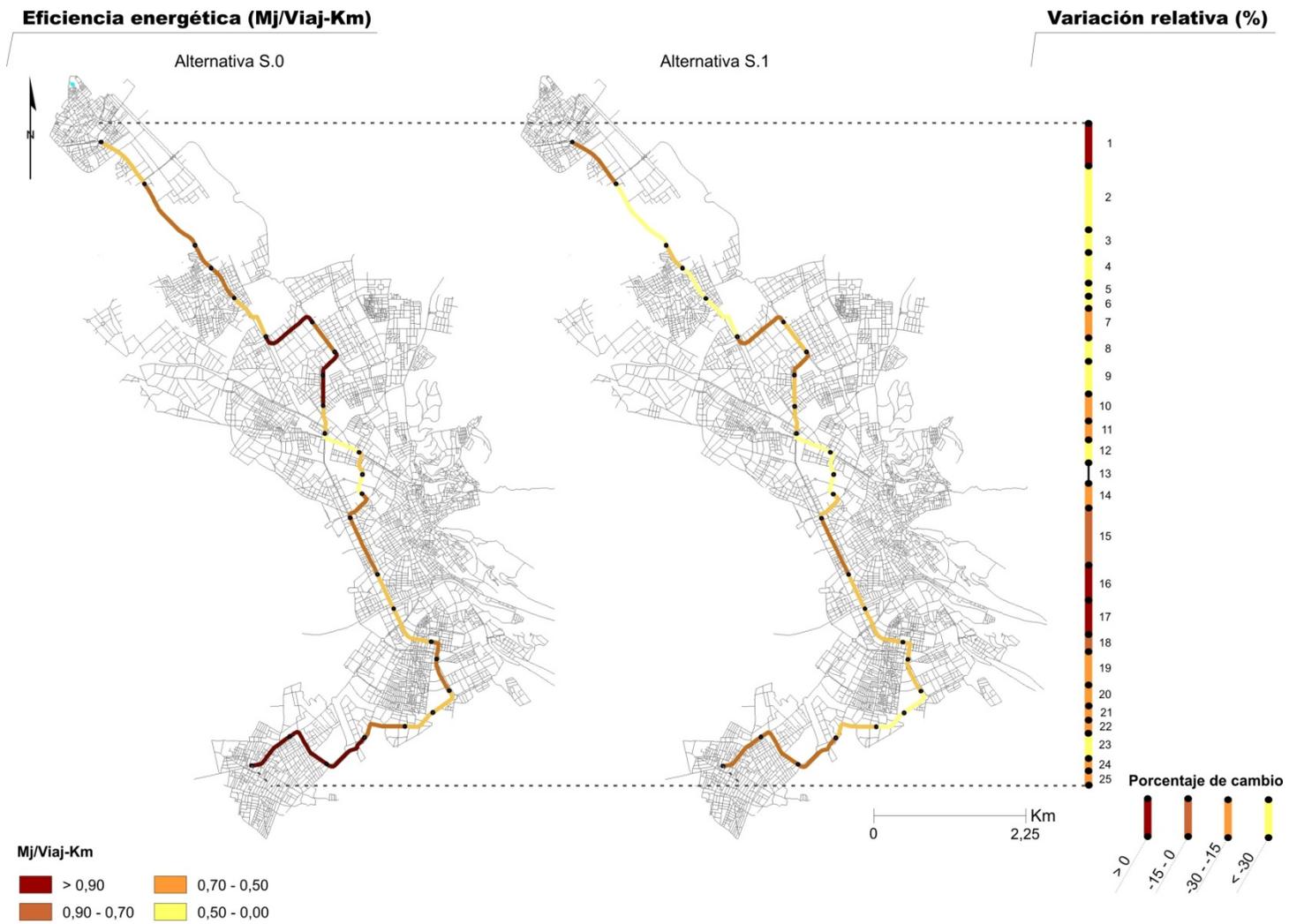


Figura 3.8. Eficiencia energética de la movilidad urbana (MJ/viaj-km) en cada alternativa y tramo. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009), EC (2010) y Van Essen *et al* (2003)

3.3.1.2. Eficiencia superficial de la movilidad urbana

La **eficiencia superficial de la movilidad urbana (ES)** hace referencia a la cantidad de suelo viario utilizado por viajero-Km transportado en modos motorizados, su aumento indica una disminución de dicha eficiencia superficial de la movilidad, lo que consecuentemente significa una reducción del rendimiento ambiental del corredor. La tabla 3.5 muestra los resultados de eficiencia superficial para cada una de las dos alternativas analizadas.

Tabla 3.5. Eficiencia superficial de la movilidad en cada alternativa (S₀ y S₁) y tramo

EFICIENCIA SUPERFICIAL (m ² /viaj-km)					
Tramos	S.0	S.1	Tramos	S.0	S.1
1	3,85	6,70	14	0,35	0,19
2	1,84	3,18	15	0,34	0,34
3	1,27	1,01	16	0,31	0,24
4	1,94	0,82	17	0,23	0,20
5	1,52	0,95	18	0,37	0,23
6	1,63	1,19	19	0,89	0,45
7	0,60	0,32	20	1,12	0,61
8	2,21	0,41	21	0,75	0,42
9	1,02	0,45	22	1,01	0,79
10	0,42	0,16	23	1,53	1,26
11	0,27	0,15	24	1,40	0,93
12	6,00	0,35	25	1,72	0,53
13	0,02	0,09			

Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009)

En promedio para el total del corredor, la alternativa S.1 correspondiente a la implantación del sistema de metro ligero muestra una mayor eficiencia superficial que la alternativa S.0. Este aumento se puede apreciar en el valor medio de los m²/viaj-Km utilizados, que es de 1,30 m²/viaj-Km en la alternativa S.0 y de 0,87 m²/viaj-Km en la alternativa S.1.

Analizando las variaciones existentes de m²/viaj-Km entre las alternativas y tramos evaluados (S.1 respecto de S.0), en relación con los diferentes bloques estructurantes enunciados en la introducción del capítulo (coexistencia viaria, eficiencia ambiental, calidad ambiental y espacio público), destacan los siguientes patrones de cambio entre alternativas:

- Existe una mayor correlación entre los niveles de coexistencia modal viaria y la variación de m²/viaj-Km en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, en comparación con lo que ocurría en el caso de la eficiencia energética de la movilidad urbana.
- Respecto del bloque de eficiencia ambiental, los m²/viaj-km obtenidos están altamente mediatizados por las previsiones de viajeros-Km transportados en cada tramo, de manera que se pueden identificar de una forma evidente, diferentes patrones de cambio en la eficiencia superficial de la movilidad respecto de tales previsiones viajeros-km.

- Los resultados obtenidos no muestran relaciones evidentes entre la dotación de espacio público en cada alternativa y la eficiencia superficial.

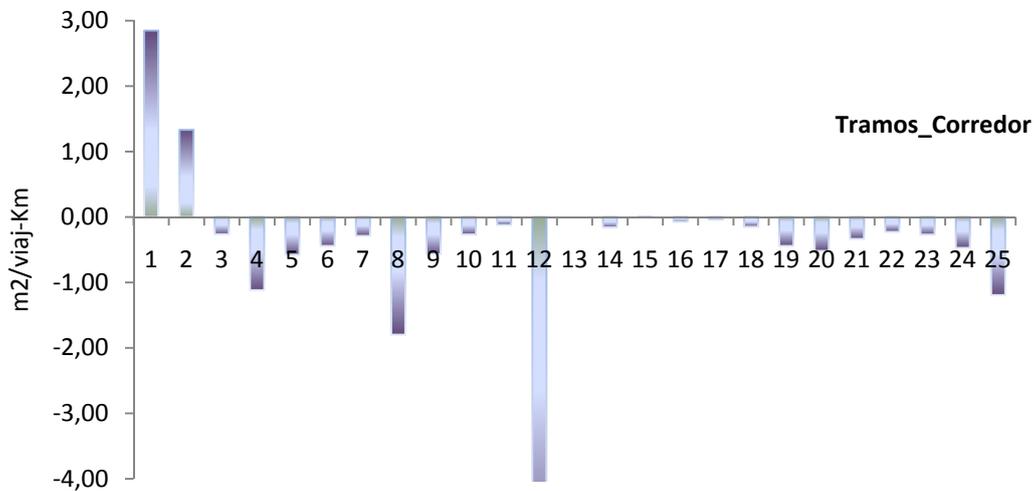


Figura 3.9. Variación de $m^2/viaj-Km$ en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 para cada tramo del corredor. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009)

Los resultados obtenidos para cada alternativa, dejan ver la existencia de una correlación mayor que en el caso de la eficiencia energética, entre los niveles de coexistencia modal viaria y la eficiencia superficial de la movilidad urbana. A diferencia del caso energético, ocurre que en aquellos tramos que poseen una mejora más evidente de la coexistencia modal, por ejemplo, los tramos 12, 20 y 21 (ver figura 3.10), siempre tiene lugar una reducción de los $m^2/viaj-Km$ en la alternativa S.1 respecto de la S.0. Un ejemplo significativo es el caso del tramo 12, entre las paradas Caleta y Estación Renfe, donde está previsto una reducción de los $m^2/viaj-km$ del 74% entre las alternativas evaluadas (la más alta del corredor). Por otro lado, aquellos tramos cuyos niveles de coexistencia modal permanecen más inalterados entre las alternativas evaluadas, por ejemplo, los tramos 15, 16 y 17, los valores de eficiencia superficial prácticamente no presentan cambio alguno.

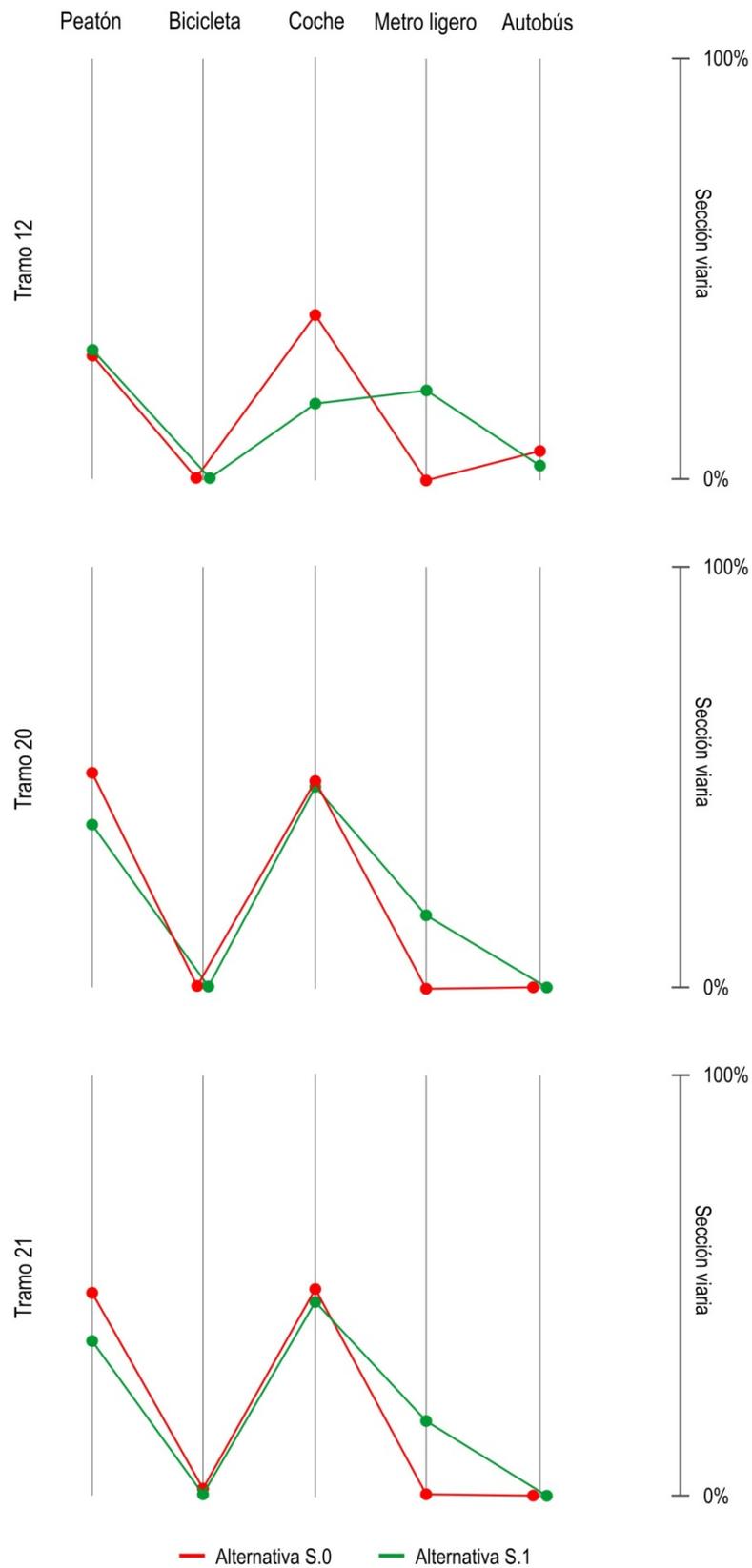


Figura 3.10. Reparto modal de la sección viaria en la alternativa S.0 y en la alternativa S.1. Tramos 12, 20 y 21. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009)

Por otro lado, los resultados dejan ver una alta correlación entre la previsión de viajeros-km transportados en cada alternativa y los $m^2/viaj-Km$ utilizados, incluso superior, a la incidencia que podría tener en dicha eficiencia superficial la ordenación modal del espacio viario. De esta forma, al igual que en el caso de la eficiencia energética, pueden ser identificados diferentes intervalos en relación con las previsiones de viaj-km de cada alternativa y tramo (ver figura 3.11):

- En aquellos casos en los que se produce una disminución de los viajeros-km transportados en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, se tiende sistemáticamente a mantener constantes los $m^2/viaj-Km$ entre alternativas o incluso el aumento de ellos, lo que es significativo de las dificultades que tiene la alternativa S.1 para solventar a través de la ordenación modal de la vía, las posibles variaciones de población transportada y su incidencia en la eficiencia superficial. Algunos ejemplos destacados son el caso del tramo 1 entre las paradas Jacobo Camarero y Juncaril en el municipio de Albolote, conjuntamente con los tramos 15, 16 y 17 entre las paradas Méndez Núñez e Hípica en el centro del corredor.
- Aquellos tramos que incrementan sus viajeros-Km hasta un máximo de un 30% en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, poseen un valor promedio de reducción de los $m^2/viaj-Km$ de la movilidad entre tales alternativas en torno a $0,4 m^2/viaj-Km$. Algunos ejemplos significativos son los tramos 5, 6 y 7 entre las paradas Cerrillo Maracena y Estación de Autobuses.
- Finalmente, los tramos que incrementan sus viajeros-Km por encima del 30% en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, alcanzan en todos los casos reducciones entre tales alternativas por encima de $0,8 m^2/viaj-Km$. Algunos ejemplos se pueden ver en los tramos 4, 8 y 25.

En última instancia, es preciso indicar que no se observa ningún patrón de cambio entre la eficiencia superficial de la movilidad urbana y la dotación de espacio público para cada una de las alternativas evaluadas (ver figura 3.12).

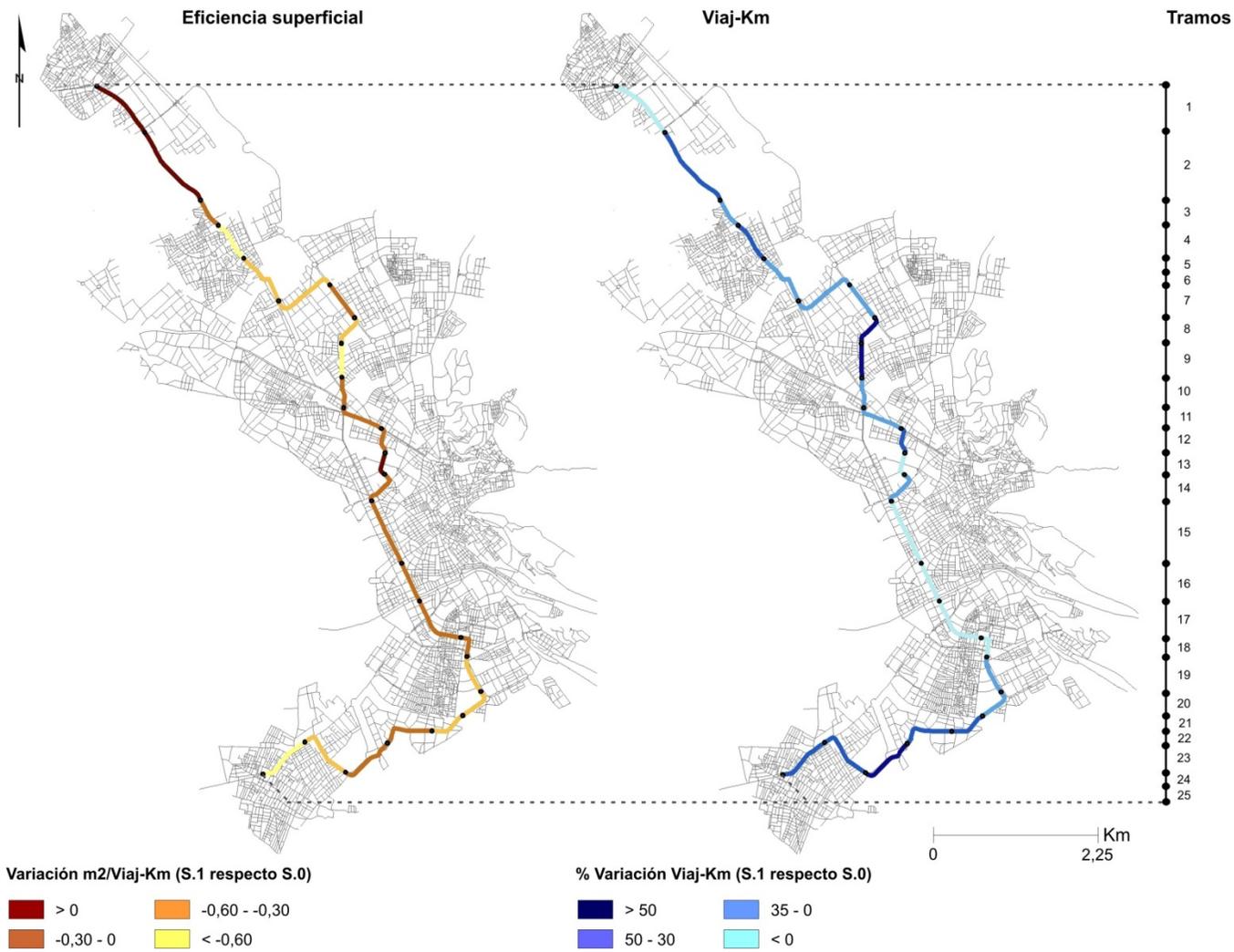


Figura 3.11. Variación de $m^2/viaj-Km$ y variación porcentual de viajeros-Km transportados (alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0). Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008)

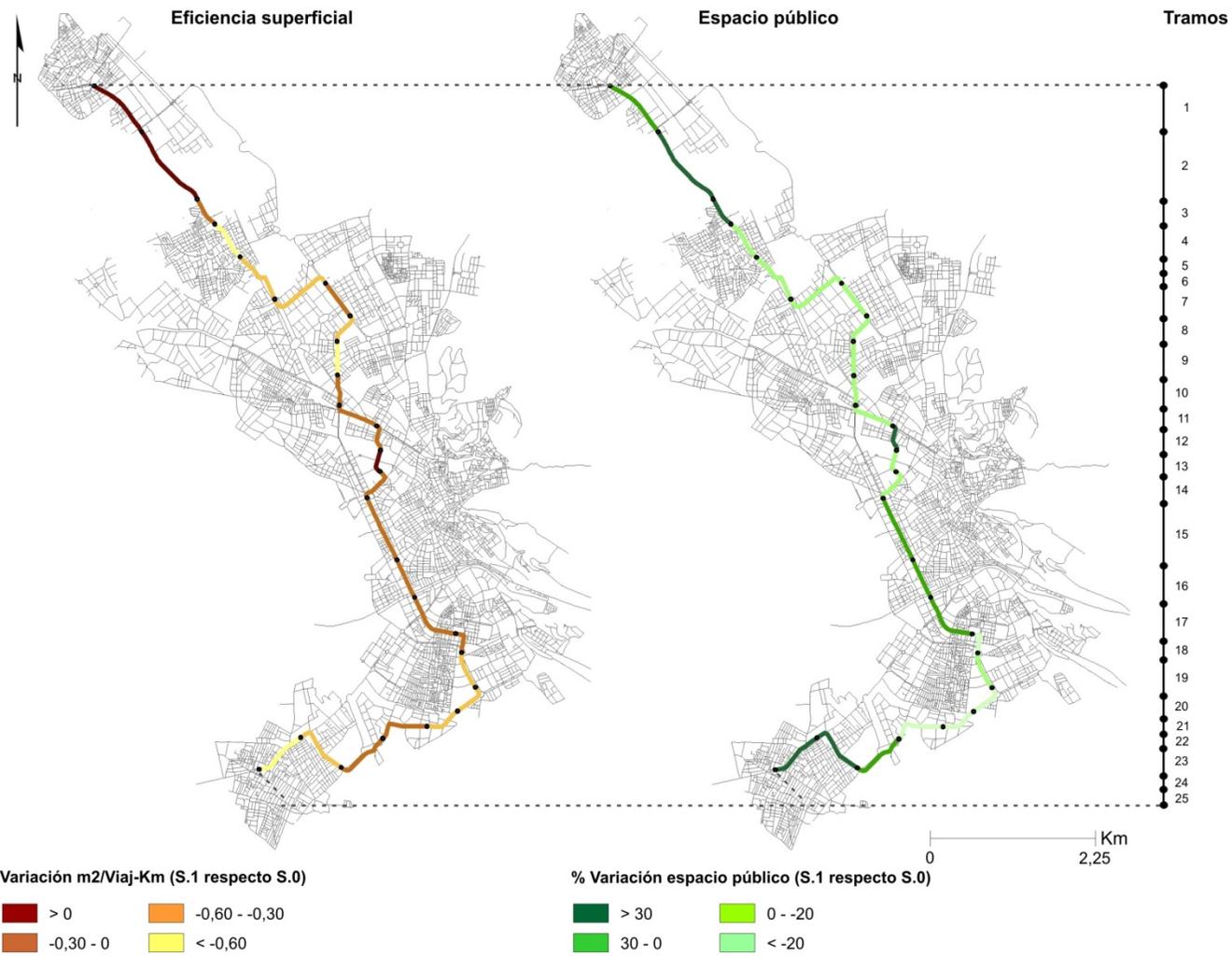


Figura 3.12. Variación de m²/viaj-Km y variación porcentual del espacio público (alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0). Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008)

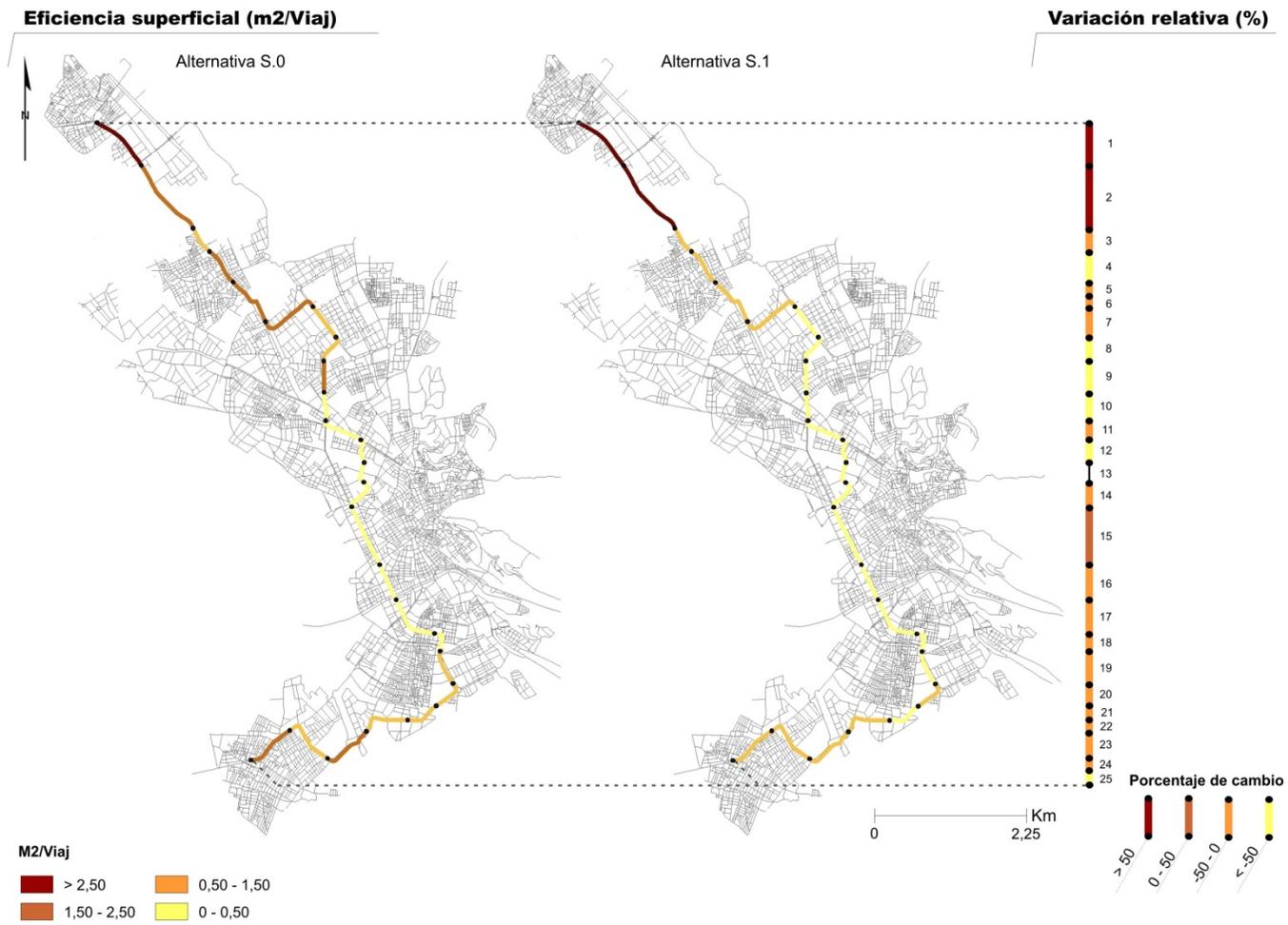


Figura 3.13. Eficiencia superficial de la movilidad urbana (m²/viaj-Km) en cada alternativa y tramo. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008)

3.3.2. Indicadores relativos a la emisión de residuos

3.3.2.1. Concentración de PM₁₀

El indicador **concentración de PM₁₀ (CPM₁₀)** hace referencia a la concentración en $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ diarios de partículas en suspensión con tamaño igual o inferior a $10\mu\text{m}$, partículas que por su tamaño no pueden ser retenidas por el aparato respiratorio humano. Tal y como se explicó en el apartado metodológico (ver apartado 3.1.2.2), para su cálculo ha sido utilizado el método propuesto por la Agencia Europea de Medio Ambiente, “*street canyon model*”. De esta forma, es conveniente apuntar que el incremento de $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ de PM₁₀ se traduce en una disminución del nivel de rendimiento ambiental del corredor. Los resultados obtenidos en cada alternativa y tramo pueden ser consultados en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Concentración de PM₁₀ en cada alternativa (S₀ y S₁) y tramo

CONCENTRACIÓN PM ₁₀ ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)					
Tramos	S.0	S.1	Tramos	S.0	S.1
1	2,86	1,40	14	23,87	18,61
2	6,00	3,32	15	28,14	18,71
3	9,41	5,05	16	26,32	16,30
4	5,59	3,05	17	36,48	25,51
5	3,24	1,63	18	16,03	12,19
6	7,04	6,30	19	6,05	5,48
7	15,68	14,07	20	5,84	6,25
8	7,51	6,04	21	8,12	8,61
9	16,26	14,47	22	10,46	10,65
10	27,46	24,60	23	16,75	14,63
11	23,71	21,96	24	11,87	10,39
12	20,43	16,13	25	8,33	6,92
13	2,35	2,33			

Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009), EC (2010) y Van Essen *et al* (2003)

Centrando el análisis sobre los diferentes bloques estructurantes recogidos en la introducción del capítulo (coexistencia viaria, calidad ambiental, eficiencia ambiental y espacio público), es preciso indicar que son dos los bloques que tienen una mayor relevancia para los resultados de este indicador, específicamente, la calidad ambiental y el espacio público.

Dado el carácter nocivo de este contaminante para la salud pública, su incremento o disminución está evidentemente relacionado con la calidad ambiental del corredor, en cuanto a la búsqueda de un nivel de confort que promueva un mayor uso de éste como espacio de estacionamiento y de relación social. En términos globales, se podría decir que la opción representada por la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 supone un incremento en la calidad ambiental del corredor, consecuencia de una disminución a nivel global de los $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ diarios de PM₁₀, pasando de $13,74 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ en la alternativa S.0 a $10,89 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ en la alternativa S.1. Además, es necesario destacar que a diferencia de otros indicadores, la concentración de PM₁₀ tiene lugar prácticamente en todos los tramos, con excepción del sector comprendido

entre los tramos 20 y 22 (localizado entre las paradas Palacio Deportes y Campus Salud I), donde los valores se mantienen prácticamente constantes entre las alternativas evaluadas.

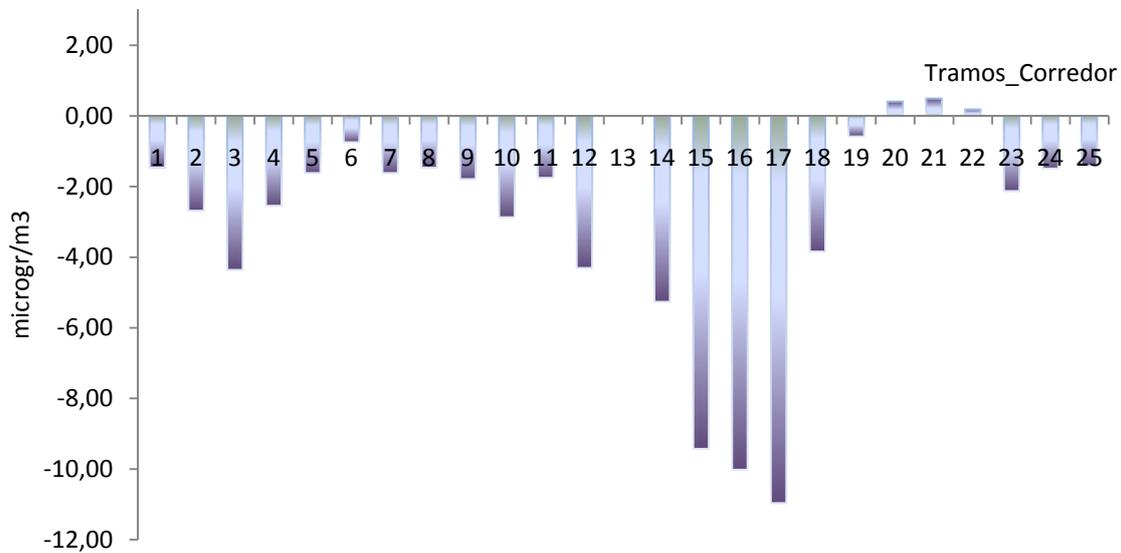


Figura 3.14. Variación de $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ diarios de PM_{10} en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 para cada tramo del corredor. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009), EC (2010) y Van Essen *et al* (2003)

Dadas las características del modelo utilizado para el cálculo de $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ diarios de PM_{10} , junto con las particularidades que presentan las diferentes alternativas en evaluación en el caso de estudio, los factores más determinantes en la variación de PM_{10} son el flujo de vehículos motorizados (coches y autobuses públicos) junto al espacio público viario. Por lo tanto, a diferencia de los indicadores relativos al uso de energía y otros recursos por parte de la movilidad, existe una alta correlación entre los cambios de la superficie destinada a espacio público viario en el corredor y la concentración de PM_{10} , mientras que de forma contraria a lo que ocurriría en tales indicadores relativos al uso de energía y otros recursos, es difícil encontrar un patrón de variación en la concentración de PM_{10} respecto de los niveles de coexistencia modal viaria.

La importancia del espacio público para la concentración de PM_{10} , tiene que ver fundamentalmente con la distancia existente en la sección viaria entre los principales focos de emisión contaminante (automóviles y autobuses públicos) y la edificación. Desde este punto de vista, cuanto mayor sea la distancia entre ambos, la concentración contaminante se realizará con mayor dificultad, de ahí, que sea fundamental para el diseño viario del corredor, localizar las superficies destinadas a espacio público de manera que aumenten en la medida de lo posible las distancias entre focos emisores y edificación.

Tomando el espacio público como elemento de referencia vinculado a una mejora potencial de la concentración de PM_{10} , pueden ser identificados diferentes niveles de referencia relacionados con la incidencia de este factor sobre la emisión contaminante:

- Los resultados obtenidos muestran que aquellos tramos con un incremento en la alternativa S.1 superior al 15% respecto de la alternativa S.0 (con alguna excepción como la del tramo 14), presentan las reducciones más intensas de $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ diarios de PM_{10} . Un buen ejemplo de esta situación es el tramo 3 entre las paradas Juncaril y Vicuña, con una reducción de $4,36 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ y un aumento de su espacio público del 86,9%, el tramo 12 entre las paradas Caleta y Estación Renfe con reducciones de $4,31 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ y un incremento del espacio público del 43,4% o, finalmente, el sector comprendido entre los tramos 15, 16 y 17 entre las paradas Méndez Núñez e Hípica, con una reducción promedio de $10,13 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ y aumentos de espacio público en torno al 22%.
- En sentido contrario, los únicos tres tramos que no experimentan mejora de la concentración de PM_{10} , tramos 20, 21 y 22 entre las paradas Palacio Deportes y Campus Salud I, tienen una reducción del espacio público viario en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, que en promedio alcanza valores del 26%.

En base a lo anterior, la figura 3.15 muestra de forma esquemática algunos ejemplos significativos de las relaciones entre la variación de espacio público y la concentración de PM_{10} para las alternativas evaluadas.

A modo de síntesis, apuntar que el indicador relativo a la concentración de PM_{10} es idóneo para valorar las variaciones en los niveles de calidad ambiental del corredor, así como, de los resultados obtenidos se puede interpretar la existencia de cierto grado de correlación entre la concentración contaminante y la dotación de espacio público viario en los tramos evaluados. De igual forma, no se ha identificado ningún patrón de cambio entre la concentración de PM_{10} y los niveles de coexistencia modal viaria.

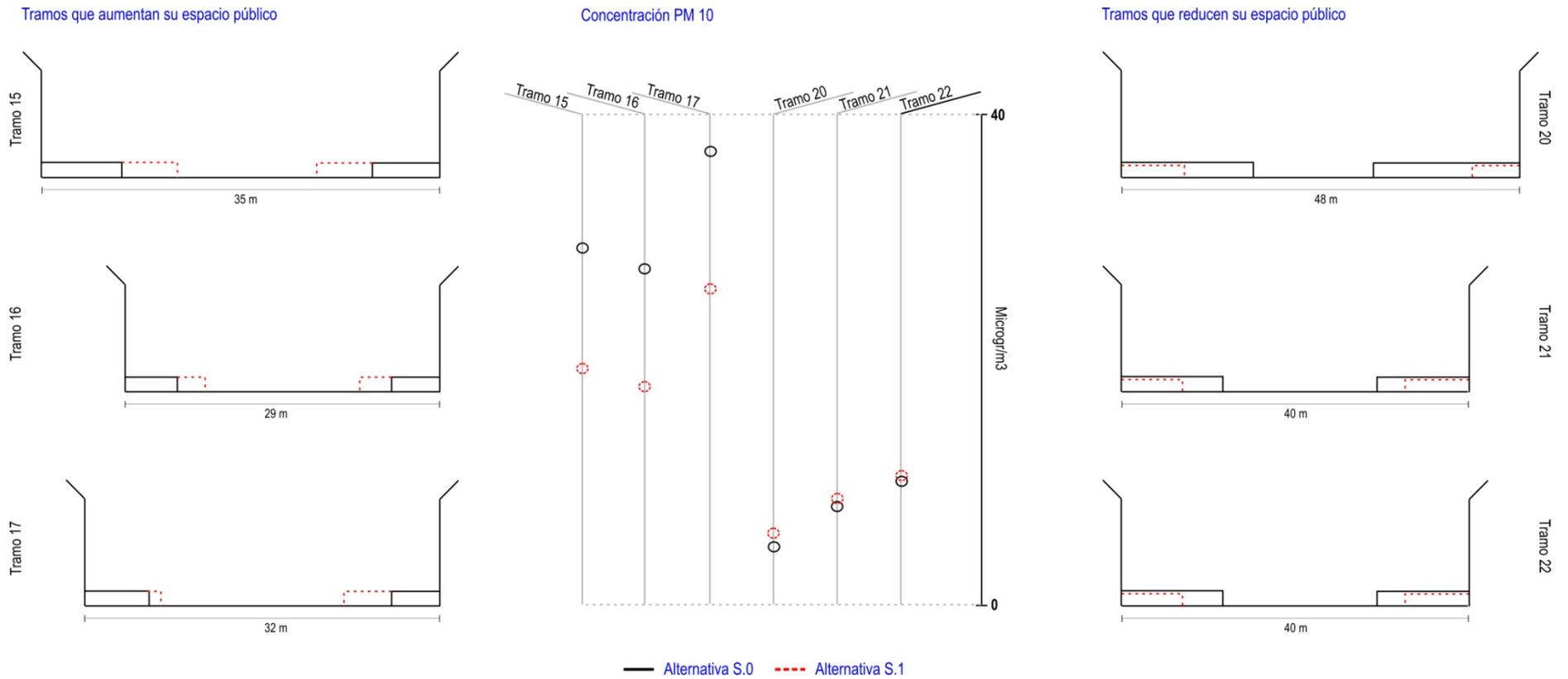


Figura 3.15. Ejemplos de tramos que relacionan la variación de espacio público viario y la concentración de PM₁₀. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009), EC (2010) y Van Essen *et al* (2003)

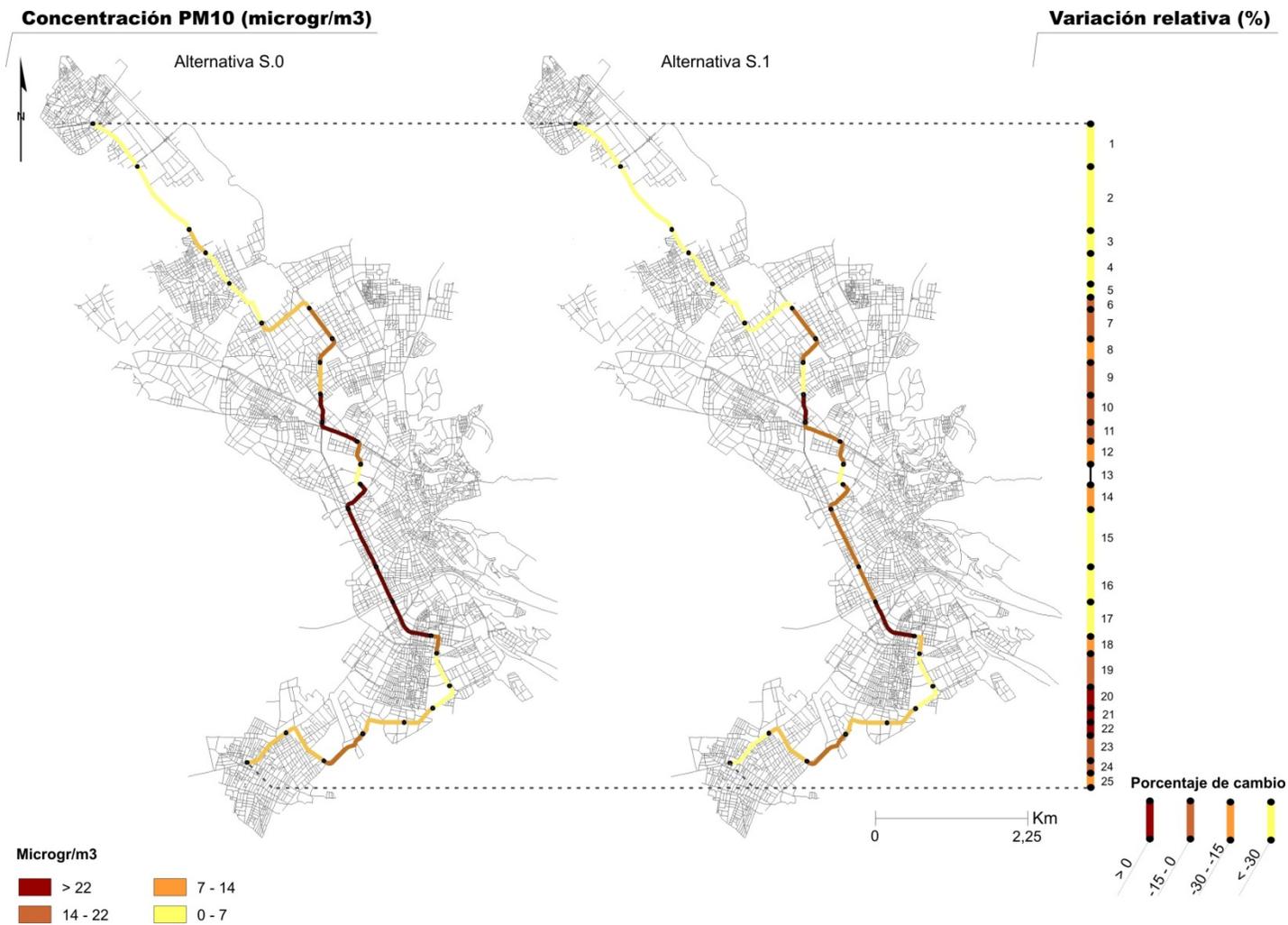


Figura 3.16. Concentración de PM₁₀ ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$) en cada alternativa y tramo. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009), EC (2010) y Van Essen *et al* (2003)

3.3.2.2. Emisión de ruido

El segundo de los indicadores utilizados en el bloque de emisión de residuos de la movilidad del corredor es el **ruido (ER)**. Las unidades de medida de la emisión ruido son el dB(A), de manera que es conveniente apuntar que el incremento de tales dB(A) entre alternativas supone una disminución del nivel de rendimiento ambiental del corredor. Los resultados obtenidos por alternativa y tramo pueden ser consultados en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Emisión de ruido en cada alternativa (S₀ y S₁) y tramo

EMISIÓN DE RUIDO (dBA)					
Tramos	S.0	S.1	Tramos	S.0	S.1
1	68,90	68,00	14	73,90	68,00
2	71,40	68,00	15	77,90	66,00
3	73,00	69,00	16	78,20	66,00
4	72,70	70,00	17	73,50	71,00
5	73,20	71,00	18	70,30	68,00
6	67,30	70,00	19	65,50	66,00
7	73,70	71,00	20	64,30	66,00
8	69,50	70,00	21	65,80	71,00
9	70,30	68,00	22	71,80	71,00
10	71,90	70,00	23	73,40	72,00
11	76,30	76,00	24	73,60	70,00
12	65,40	74,00	25	74,60	70,00
13	49,03	50,01			

Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009)

Al igual que en el caso de la concentración de PM₁₀, los resultados del indicador emisión de ruido se analizarán sobre los bloques estructurantes relativos a calidad ambiental y espacio público.

Dada la importancia de la contaminación acústica para la salud pública, su incremento o disminución está evidentemente relacionado con la calidad ambiental del corredor, en cuanto a la búsqueda de un nivel de confort que promueva un mayor uso de éste como espacio de estacionamiento y de relación social. En promedio para el total del corredor, se podría decir que la opción representada por la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 supone un ligero incremento de la calidad ambiental, consecuencia de una disminución de los dB(A) diarios emitidos por la movilidad, que pasa de 70,65 dB(A) en la alternativa S.0 a 68,8 dB(A) en la alternativa S.1. Por otro lado, a diferencia de los resultados obtenidos para la concentración de PM₁₀, existen un mayor número de tramos donde la alternativa S.1 presenta un nivel de emisión de ruido mayor que en la alternativa S.0, es decir, la mejora en el rendimiento ambiental no está tan generalizada entre los tramos del corredor como ocurría en el caso de la concentración de PM₁₀.

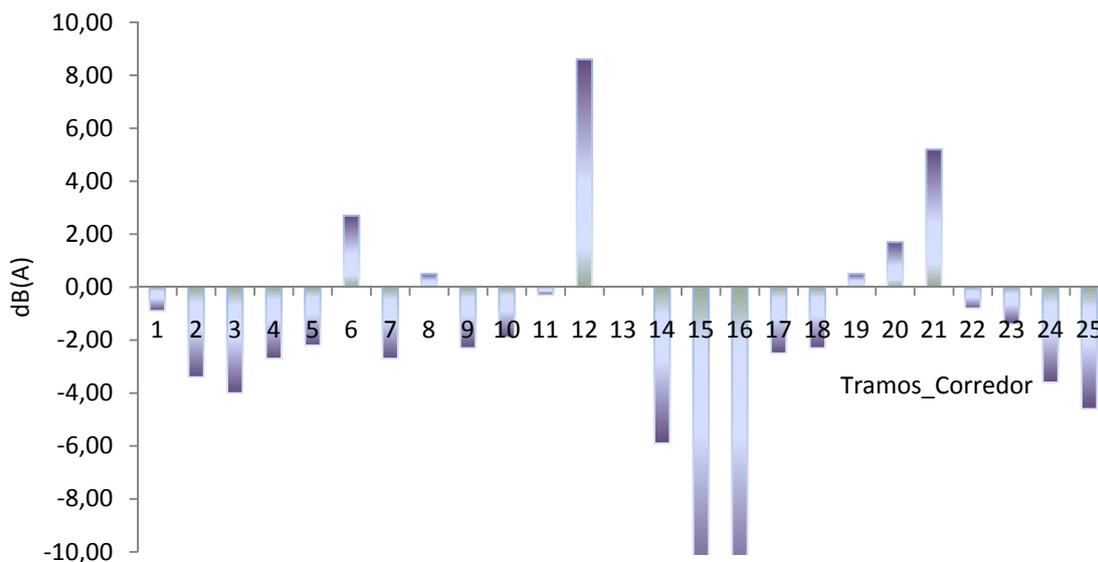


Figura 3.17. Variación de dB(A) diarios en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 para cada tramo del corredor. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009)

En segundo lugar, se puede ver una evidente relación entre la variación de espacio público viario y el nivel de emisión de ruido en el corredor, de la misma forma que resulta difícil encontrar un patrón de variación de tales niveles de emisión sonora respecto de los cambios en la coexistencia modal viaria.

La importancia del espacio público tiene que ver fundamentalmente con la distancia existente en la sección viaria entre los principales focos de emisión contaminante (automóviles y autobuses públicos) y la edificación. Desde este punto de vista, cuanto mayor sea la distancia entre ambos, la mitigación de los niveles de ruido se incrementa, particularmente por la reducción de procesos de reverberación acústica viaria.

Tomando el espacio público como elemento de referencia vinculado a una mejora potencial de la emisión de ruido en el corredor, pueden ser identificados diferentes niveles de referencia relacionados con la incidencia de este factor sobre la emisión contaminante:

- Aquellos tramos que en la alternativa S.1 poseen un incremento de su espacio público superior al 25% respecto de la alternativa S.0 (con alguna excepción como la del tramo 14), presentan las reducciones más intensas de dB(A). Esta situación se pone de manifiesto en el caso de los tramos 15 y 16 entre las paradas Méndez Núñez y Río Genil, con una reducción promedio de 12,05 dB(A) y un aumento de su espacio público del 27,7% o, por ejemplo, el caso del tramo 25 donde se realiza una peatonalización parcial del mismo, que implica un incremento del espacio público del 69,8%, junto con reducción de la emisión sonora equivalente a 4,60 dB(A).

- En sentido contrario, los tramos 20, 21 y 22 entre las paradas Palacio Deportes y Campus Salud I, presentan un incremento de la emisión de ruido de 2,03 dB(A), coincidente con una disminución del espacio público viario en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 de aproximadamente el 27,4%

En base al análisis anterior, la figura 3.18 muestra de forma esquemática algunos ejemplos significativos de las relaciones entre la variación de espacio público y los niveles de emisión de ruido para las diferentes alternativas del corredor.

A modo de síntesis, apuntar que el indicador emisión de ruido es idóneo para analizar las variaciones en los niveles de calidad ambiental del corredor, así como, de los resultados obtenidos se puede interpretar la existencia de cierto grado de correlación entre los niveles de emisión contaminante y la dotación de espacio público viario en los tramos evaluados. De igual forma, no se ha identificado ningún patrón de cambio entre los niveles de ruido y los cambios en la coexistencia modal viaria.

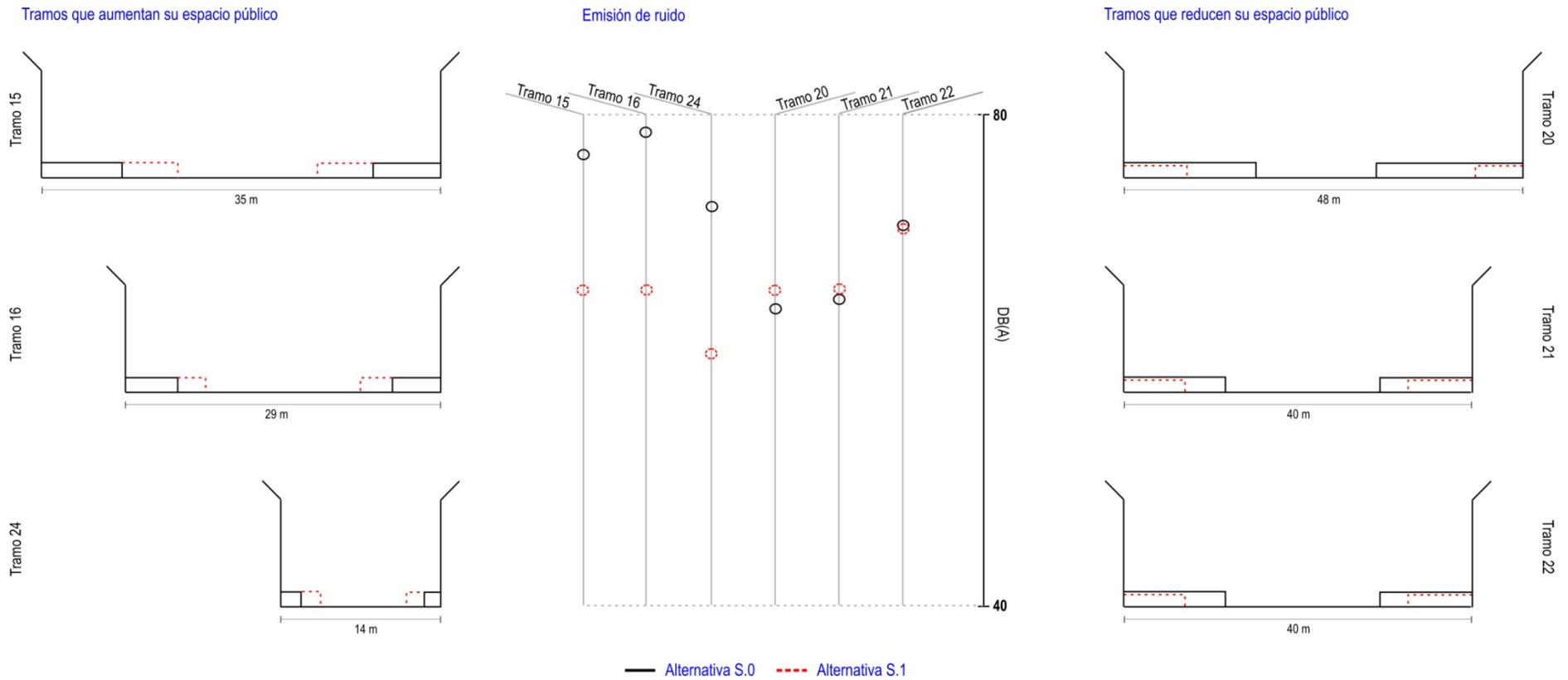


Figura 3.18. Ejemplos de tramos que relacionan la variación de espacio público viario y la emisión de ruido. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009), EC (2010) y Van Essen *et al* (2003)

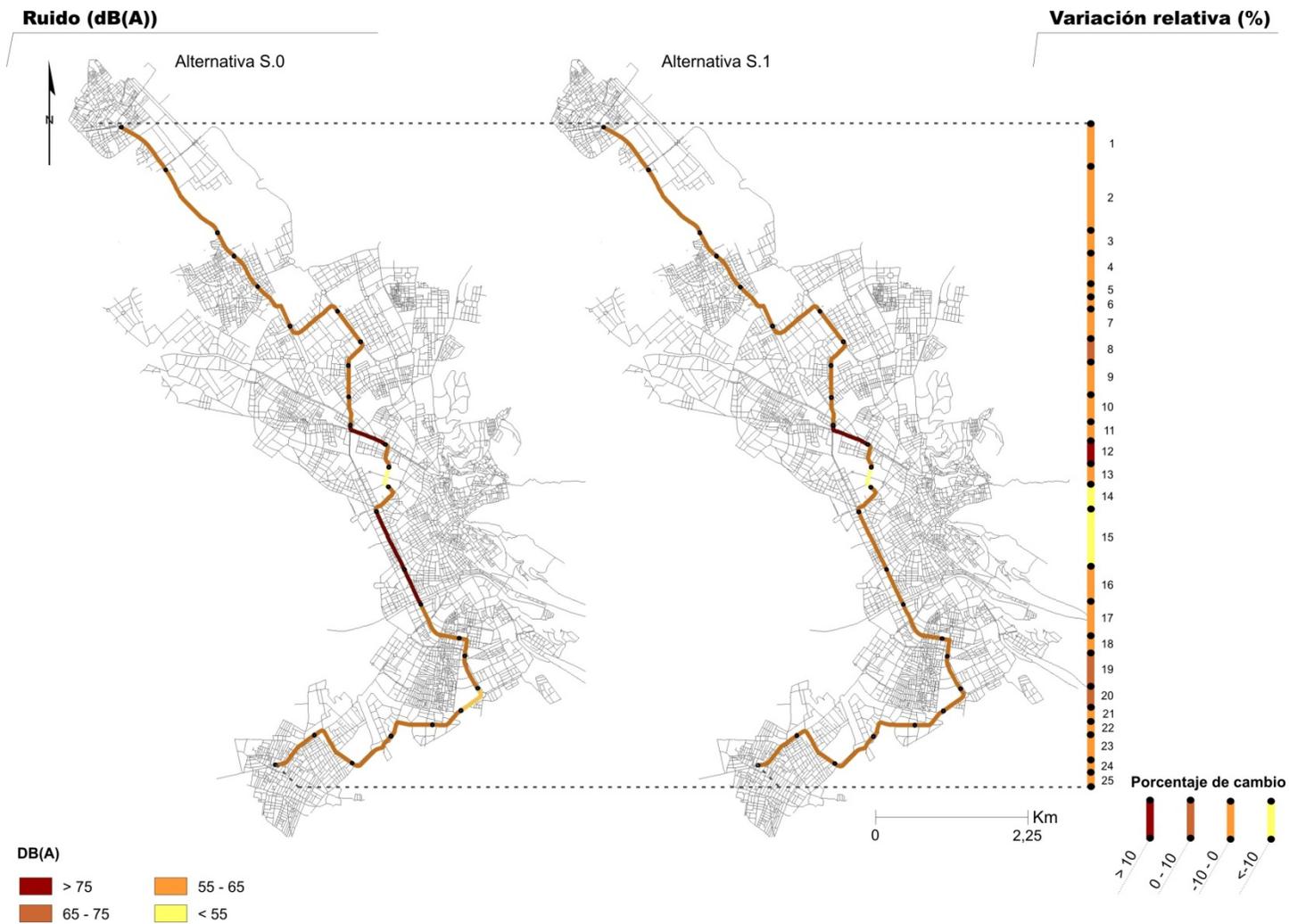


Figura 3.19. Emisión de ruido (dB(A)) en cada alternativa y tramo. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009), EC (2010) y Van Essen *et al* (2003)

3.3.3. Indicadores relativos al uso modal viario

3.3.3.1. Coeficiente viario de reparto

El **coeficiente viario de reparto (CVR)** valora la distribución del espacio viario respecto de la movilidad no motorizada. Sus resultados expresan los m² de sección viaria en relación con los m² de espacio peatonal y en bicicleta. Cuanto más elevado es el coeficiente viario de reparto, menor será el rendimiento ambiental del corredor. A este respecto, la tabla 3.8 muestra los resultados obtenidos por alternativa y tramo.

Tabla 3.8. Coeficiente viario de reparto en cada alternativa (S₀ y S₁) y tramo

COEFICIENTE VIARIO REPARTO (m ² secc/m ² peat)					
Tramos	S.0	S.1	Tramos	S.0	S.1
1	2,32	2,31	14	1,93	1,94
2	2,67	1,66	15	2,54	2,00
3	2,79	1,78	16	2,59	2,17
4	2,50	2,65	17	2,62	2,52
5	1,31	2,44	18	2,11	2,67
6	1,49	2,02	19	1,40	1,54
7	1,69	1,92	20	1,65	2,69
8	1,91	2,05	21	1,73	2,41
9	1,59	1,75	22	2,09	2,79
10	2,08	2,24	23	1,93	1,66
11	1,95	2,10	24	2,87	2,04
12	2,03	1,41	25	2,38	1,37
13	1,58	1,56			

Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009)

La importancia de analizar el coeficiente viario de reparto desde la perspectiva de la calidad ambiental del corredor, reside esencialmente en que la dotación de espacio destinado a modos no motorizados, contribuye de forma directa en fomentar el corredor como un espacio de encuentro, ocio y de relación social, por lo que abordar esta dimensión es fundamental desde el punto de vista de los principios de movilidad urbana sostenible enumerados en los fundamentos teóricos de la investigación. A diferencia del resto de indicadores hasta el momento analizados, los resultados globales del coeficiente viario de reparto no muestran grandes cambios entre las alternativas planteadas. De esta forma, el valor promedio para el total del corredor en la alternativa S.0 es de 2,07 m²secc./m²peat, mientras que en la alternativa S.1 es de 2,04 m²secc./m²peat. A pesar de que en valores promedio no existen aparentemente grandes cambios, el coeficiente viario de reparto es el indicador donde se registran más variaciones a nivel específico de cada tramo, permitiendo la identificación de hasta cinco sectores a lo largo del corredor (ver figura 3.20):

- El sector comprendido entre los tramos 1 y 3 (entre las paradas Jacobo Camarero y Vicuña), donde se produce una disminución promedio del coeficiente viario de reparto de 0,67 m²secc./m²peat en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0.

- El sector comprendido entre los tramos 4 y 11 (entre las paradas Vicuña y Villarejo), donde se produce un incremento promedio del coeficiente viario de reparto de 0,32 $m^2secc./m^2peat$ en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0.
- El sector comprendido entre los tramos 12 y 17 (entre las paradas Villarejo e Hípica), caracterizado por una disminución promedio del coeficiente viario de reparto de 0,44 $m^2secc./m^2peat$ en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0.
- El sector comprendido entre los tramos 18 y 22 (entre las paradas Hípica y Campus de la Salud II), caracterizado por un incremento promedio del coeficiente viario de reparto de 0,62 $m^2secc./m^2peat$ en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0.
- El sector comprendido entre los tramos 23 y 25 (entre las paradas Campus de la Salud II y Poniente), caracterizado por una disminución promedio del coeficiente viario de reparto de 0,69 $m^2secc./m^2peat$ en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0.

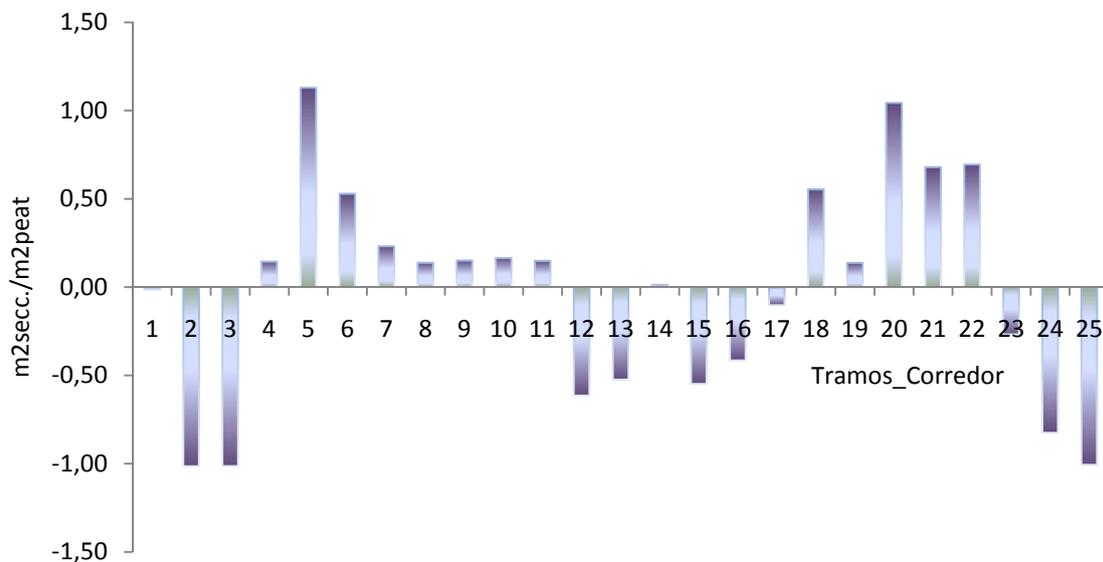


Figura 3.20. Variación de $m^2secc./m^2peat$ en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 para cada tramo del corredor. Fuente: elaboración propia a partir de Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009)

Aunque es difícil identificar un elevado grado de correspondencia entre el nivel de coexistencia modal viaria de las alternativas evaluadas y el coeficiente viario de reparto, en los resultados obtenidos se puede apreciar que de forma general, los tramos con mayor aumento de la coexistencia modal viaria en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, llevan implícitos aumentos de los resultados de este indicador, ya que usan parte del espacio peatonal y para bicicleta existente en la alternativa S.0 para la implementación de nuevas opciones modales de transporte en su sección viaria. Esta situación ocurre, por ejemplo, en los tramos 20 y 21 (ver figura 3.10, apartado 3.3.1.2). De forma contraria, algunos tramos donde el nivel de coexistencia modal viaria permanece prácticamente inalterado entre las alternativas evaluadas, por ejemplo, en los tramos 15 y 16 del corredor (ver figura 3.5, apartado 3.3.2.1),

tiende a reducirse el coeficiente viario de reparto, como consecuencia de un incremento del espacio destinado a usos peatonales y de movilidad alternativa.

Finalmente, respecto del bloque relativo al espacio público y derivado del propio diseño del indicador, los resultados de éste muestran una correlación evidente con las variaciones de espacio público previsto entre las alternativas evaluadas. De esta forma, cada uno de los cinco sectores previamente identificados en base a la variación del coeficiente viario de reparto, están claramente relacionados con la dotación de espacio público (ver figura 3.21):

- El sector comprendido entre los tramos 1 y 3, caracterizado por disminuir su coeficiente viario de reparto en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, coincide con incrementos promedio en la dotación de espacio público en la alternativa S.1 en torno al 54,4%.
- El sector comprendido entre los tramos 4 y 11, caracterizado por incrementar su coeficiente viario de reparto en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, coincide con disminuciones promedio en la dotación de espacio público en la alternativa S.1 en torno al 8,5%.
- El sector comprendido entre los tramos 12 y 17, caracterizado por disminuir su coeficiente viario de reparto en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, coincide con incrementos promedio en la dotación de espacio público en la alternativa S.1 en torno al 19,62%.
- El sector comprendido entre los tramos 18 y 22, caracterizado por incrementar su coeficiente viario de reparto en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, coincide con disminuciones promedio en la dotación de espacio público en la alternativa S.1 en torno al 22,4%.
- El sector comprendido entre los tramos 23 y 25, caracterizado por disminuir su coeficiente viario de reparto en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, coincide con incrementos promedio en la dotación de espacio público en la alternativa S.1 en torno al 24,86%.

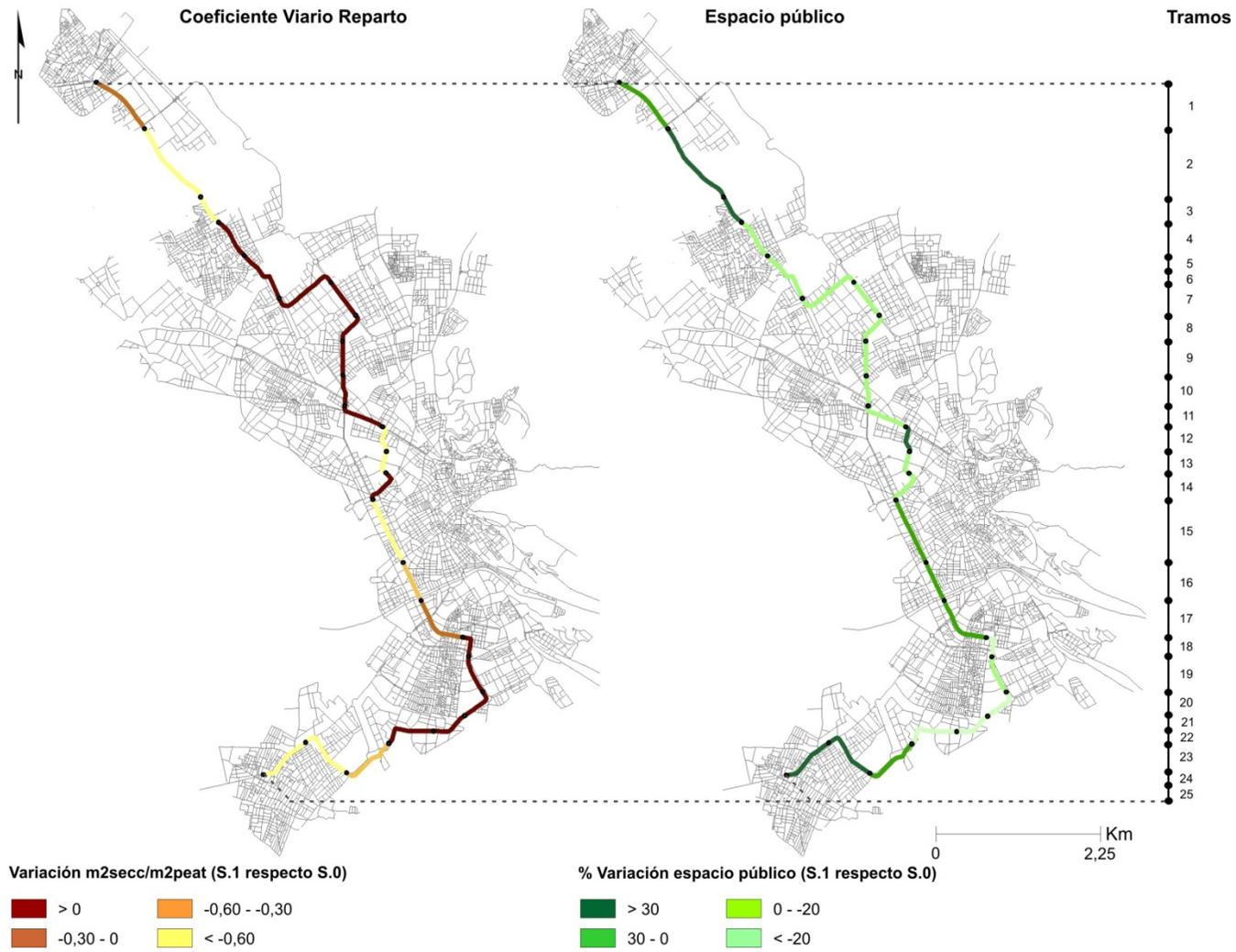


Figura 3.21. Variación del coeficiente viario de reparto y variación del espacio público (alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0). Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008)

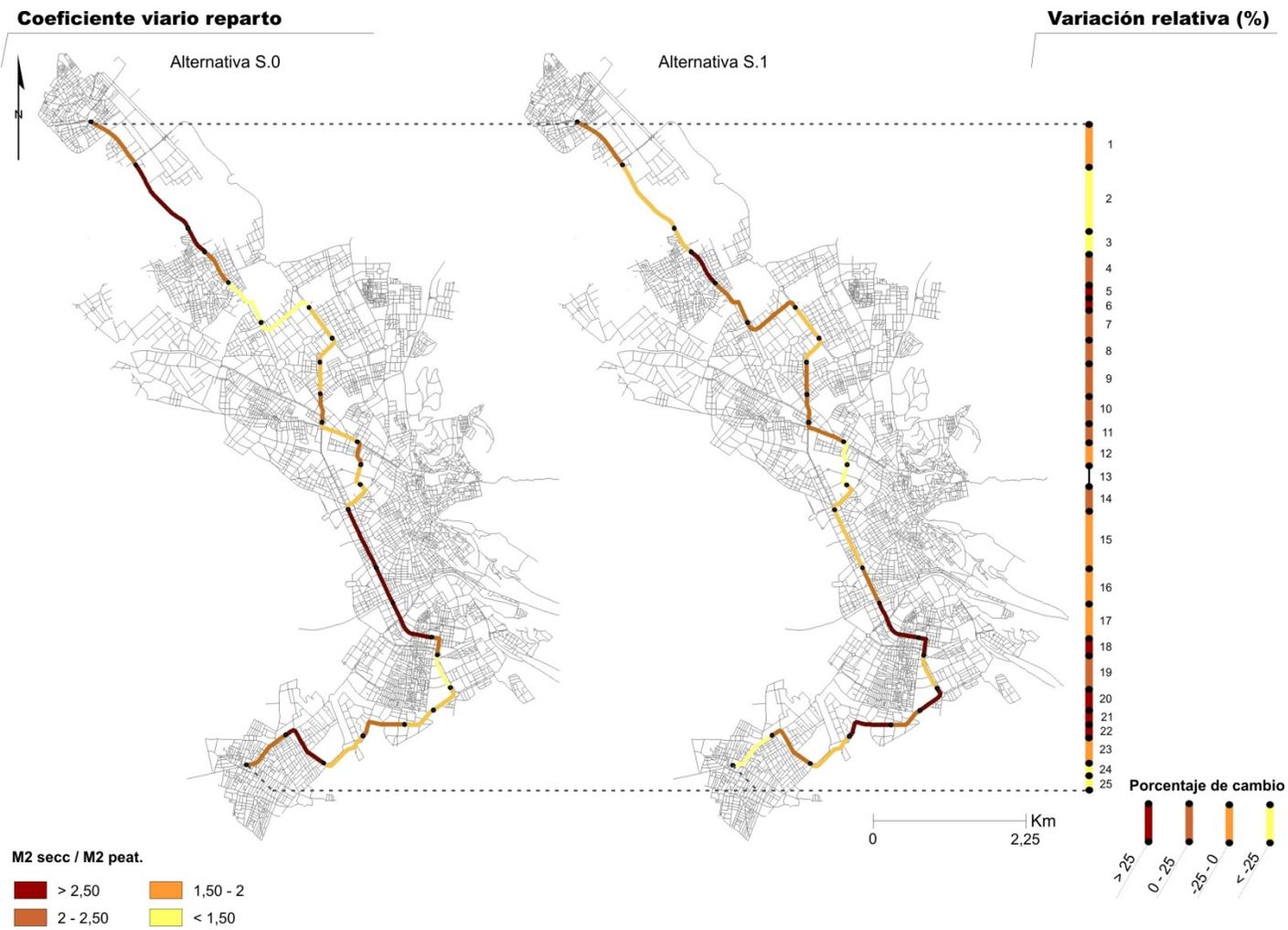


Figura 3.22. Coeficiente viario de reparto ($m^2\text{secc}/m^2\text{peat}$) en cada alternativa y tramo. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009)

3.3.3.2. Efecto barrera

El **efecto barrera (EB)** expresa la impedancia existente para peatones en el corredor, como consecuencia de la ordenación modal viaria. Por lo tanto, su cálculo depende de los diferentes modos de transporte existentes, así como, del espacio destinado a ellos. Sus resultados serán expresados en EB/m vía, de manera que a mayor efecto barrera, menor rendimiento ambiental en el corredor. La tabla 3.9 muestra los resultados obtenidos por alternativa y tramo.

Tabla 3.9. Efecto barrera en cada alternativa (S₀ y S₁) y tramo

EFECTO BARRERA (EB/m)					
Tramos	S.0	S.1	Tramos	S.0	S.1
1	0,32	0,28	14	4,53	3,35
2	0,35	0,40	15	6,39	5,28
3	0,26	0,32	16	4,53	4,01
4	0,28	0,15	17	4,18	2,42
5	0,24	0,12	18	2,89	2,46
6	1,78	1,03	19	2,92	2,78
7	3,55	2,93	20	1,42	1,23
8	1,80	1,43	21	1,09	1,07
9	4,76	4,01	22	1,38	1,20
10	6,07	3,96	23	1,60	1,15
11	2,09	0,80	24	0,44	0,26
12	2,47	1,26	25	0,39	0,09
13	0,09	0,11			

Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009)

La importancia de este indicador respecto de la calidad ambiental del corredor, reside en el hecho de que fomentar una reducción entre alternativas de la impedancia viaria existente para el peatón, puede fortalecer un mayor uso del corredor como espacio destinado al encuentro, estacionamiento, ocio, etc., así como, un tránsito más agradable y flexible en la vía para modos de movilidad no motorizados. A partir de los resultados obtenidos, se puede decir que existe un aumento de la calidad ambiental en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, ya que los valores promedio de efecto barrera son de 2,22 en la alternativa S.0 y de 1,86 en la alternativa S.1. Además, prácticamente la totalidad de tramos experimentan un descenso del efecto barrera en la alternativa S.1, con excepción de los tramos 2 y 3 en el norte del corredor.

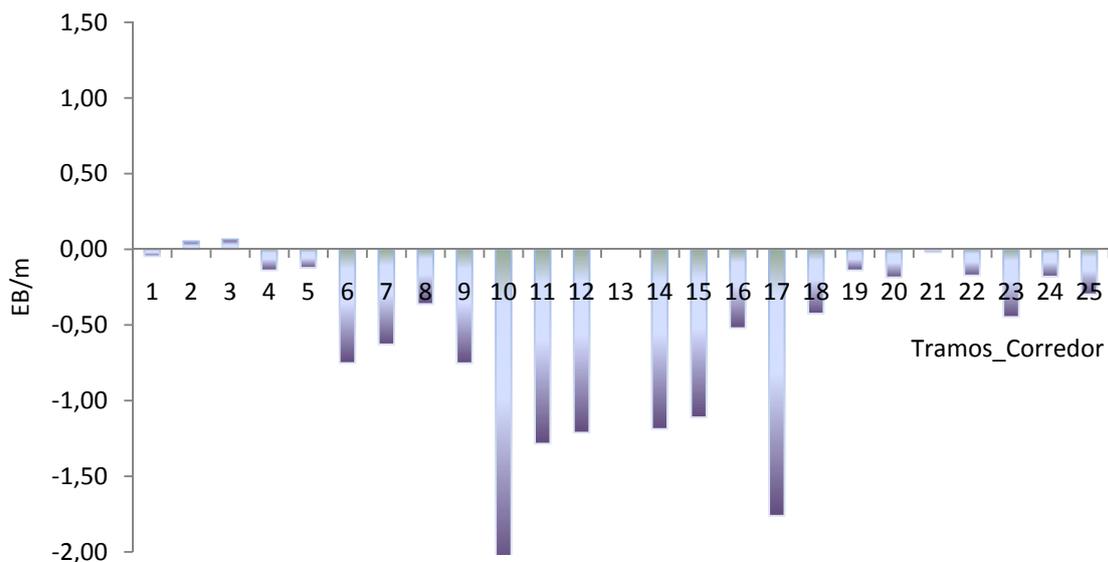
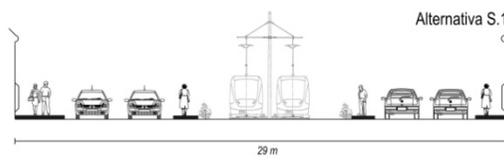
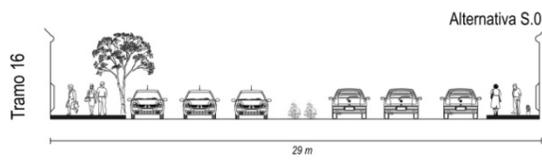
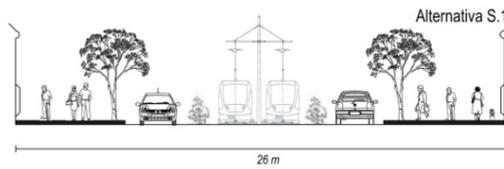
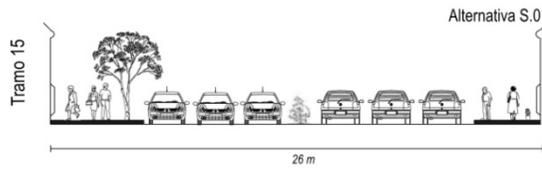


Figura 3.23. Variación del EB/m en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 para cada tramo del corredor. Fuente: elaboración propia a partir de Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009)

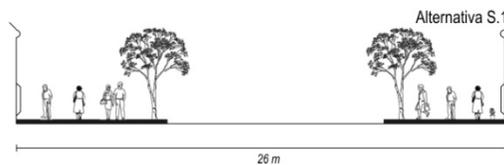
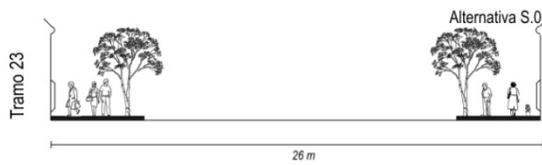
El factor que tiene una mayor incidencia en los resultados obtenidos es el flujo de vehículos motorizados, incluso por encima de la ordenación modal viaria del corredor en cada tramo. Esta situación provoca, por ejemplo, que exista una mayor disminución del efecto barrera en aquellos tramos donde las intensidades del flujo de vehículos eran más intensas en la alternativa S.0. De esta forma, se puede ver que tales disminuciones se concentran mayoritariamente en el sector de corredor comprendido entre el tramo 10 y 17 entre las paradas Villarejo e Hípica.

Consecuencia de lo anterior, exceptuando los tramos centrales donde la disminución del efecto barrera está muy relacionada con la reducción del flujo de vehículos motorizados en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0., el resto de tramos se caracteriza por asociar la reducción del efecto barrera a cuestiones vinculadas tanto con la coexistencia modal viaria, como con la dotación de espacio público en cada alternativa. Algunos ejemplos destacables son el caso particular de los tramos 6 y 7, donde los flujos de vehículos motorizados no son tan intensos en la alternativa S.0 y la reducción promedio del efecto barrera está en torno a 0,69 EB/m, consecuencia fundamentalmente de la mayor coexistencia modal existente en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 (ver figura 3.24). Otro ejemplo destacable es el caso particular de los tramos 23 y 24, donde el descenso promedio de efecto barrera es de 0,31 EB/m y se debe fundamentalmente al incremento en la dotación de espacio público viario (ver figura 3.24).

Tramos que mejoran la coexistencia modal viaria



Tramos que aumentan el espacio público



Efecto barrera de cada alternativa

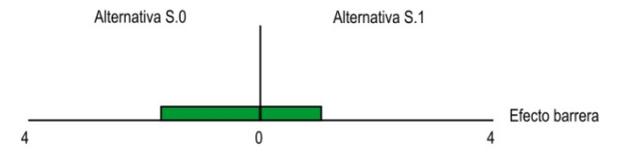
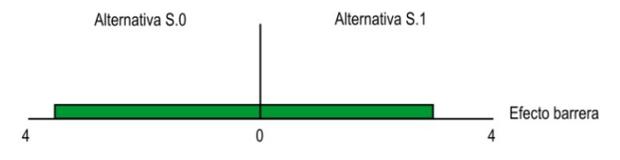
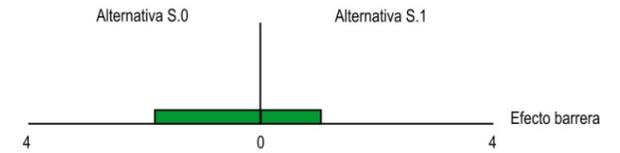


Figura 3.24. Tramos cuya disminución del efecto barrera en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0., está asociada a mejoras de coexistencia modal viaria o a incrementos en la dotación de espacio público. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009)

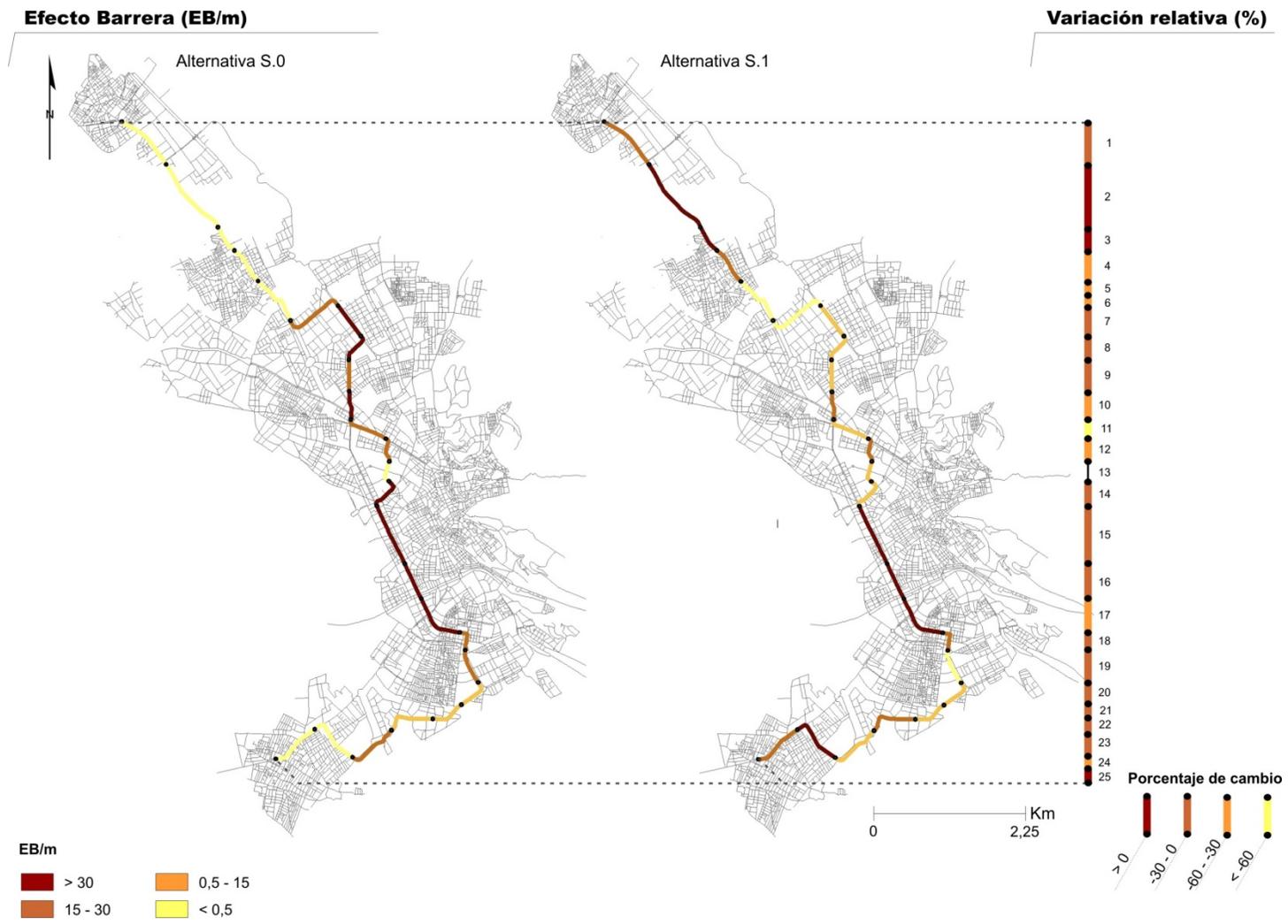


Figura 3.25. Efecto barrera (EB/m vía) para cada alternativa y tramo. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009)

3.3.4. Valor ambiental global. Agregación de resultados

La agregación de resultados en un valor global implica varias fases (ver apartado 1.2.3): (i) ponderación de los indicadores utilizados en el sistema de evaluación del rendimiento ambiental; (ii) normalización de los resultados de cada indicador para hacer posible su comparación y agregación; (iii) agregación de los resultados y obtención de un valor global.

3.3.4.1. Pesos de ponderación de cada indicador

El método utilizado para estimar la relevancia de cada indicador está basado en la realización de un panel de expertos vinculados con el proyecto de metro ligero del área metropolitana de Granada, para en segundo lugar y partir del panel en cuestión, estimar los pesos de ponderación de cada indicador a través del método de ordenación recíproca (Malczewski, 1999).

El panel de expertos realizado contaba con una única ronda temporal de respuesta entre los meses de Junio a Octubre de 2010, donde a cada experto le fue solicitado que ordenase de mayor a menor según su orden de preferencia los siguientes factores con incidencia en el rendimiento ambiental de la movilidad del corredor: (1) energía consumida por viajero transportado, (2) espacio viario usado por viajero transportado, (3) concentración de contaminantes atmosféricos con incidencia en la salud pública y calidad del aire local, (4) emisión de ruido, (5) espacio destinado a movilidad no motorizada y (6) permeabilidad de la vía para el peatón.

Por bloque afines fueron seleccionados 50 expertos repartidos de acuerdo a su experiencia en los siguientes bloques:

- Planificadores de infraestructuras y movilidad (10 participantes)
- Consultores y especialistas (12 participantes)
- Investigadores (12 participantes)
- Planificadores urbanísticos y ambientales (16 participantes)

Un total de 42 expertos completaron el cuestionario, repartidos en: 7 del primer grupo relativo a planificadores de infraestructuras y movilidad, 10 del segundo relativo a consultores y especialistas, 11 del tercero relativo a investigadores y 14 del último bloque que hace referencia a planificadores urbanísticos y ambientales.

A la vista de las respuestas emitidas por cada experto y en base al método de ordenación recíproca, la tabla 3.10 contiene los pesos obtenidos para cada uno de los seis indicadores previamente propuestos.

Tabla 3.10. Pesos normalizados de cada indicador

Bloques	Indicador	Valor medio de orden (r_j)	Peso normalizado (w_j)
"Entradas"	Eficiencia energética	3,14	0,19
	Eficiencia superficial	3,60	0,16
"Salidas"	ConcentraciónPM ₁₀	4,11	0,14
	Ruido	3,11	0,18
Uso vía	Coefficiente viario reparto	3,69	0,16
	Efecto Barrera	3,34	0,17

Fuente: elaboración propia

En la tabla 3.10 se puede ver como los pesos normalizados estimados son bastante similares para cada indicador. De esta forma, se deduce de las respuestas emitidas por el conjunto de expertos, que otorgan una importancia muy parecida a cada uno de los factores por los que fueron consultados. Destaca con un mayor peso la eficiencia energética de la movilidad ($W_j = 0,19$), seguido del ruido ($W_j = 0,18$), efecto barrera ($W_j = 0,17$), eficiencia superficial y coeficiente viario de reparto ($W_j = 0,16$), finalmente, el último lugar es ocupado por la concentración de PM₁₀ ($W_j = 0,14$).

3.3.4.2. Normalización de cada indicador

El objetivo de este apartado es normalizar los resultados de cada indicador, primero para hacerlos comparables y, en segundo lugar, para que sea posible su agregación. El método seleccionado para la normalización se basa en la obtención de una función de transformación o utilidad para cada indicador, que son las encargadas de "transformar" los resultados del indicador en un valor normalizado "útil" para la agregación.

Para estimar dicha función de transformación se ha usado el método del "valor medio" (Bodily, 1985). Teniendo en cuenta el rango de variabilidad de los resultados de cada indicador, así como el número total de datos a normalizar, cada función de transformación ha sido estimada con un total de 17 puntos de muestra, cuyo valor por indicador puede ser consultado en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Puntos para la obtención de la funciones de transformación de cada indicador

Valor Función Transformación (0-1)	Eficiencia Energética (MJ/viaj-Km)	Eficiencia Superficial (m ² /viaj-Km)	Concentración PM ₁₀ (μgr/m ³)	Ruido (dBA)	Coefficiente Viario Reparto (m ² sec/m ² peat)	Efecto Barrera (EB/m)
1,00	2,36	12,59	36,48	78,20	3,04	639,31
0,95	1,94	8,91	28,78	76,60	2,78	562,60
0,88	1,33	6,87	25,85	74,86	2,66	477,33
0,82	1,08	5,82	23,35	73,74	2,55	428,41
0,75	0,95	4,86	20,38	73,18	2,47	377,89
0,69	0,85	3,59	17,60	72,13	2,35	334,09
0,63	0,80	2,87	16,17	71,64	2,24	289,13
0,56	0,77	2,31	14,74	70,88	2,13	257,39
0,50	0,71	1,91	12,31	70,31	2,06	195,49
0,44	0,65	1,50	10,51	69,91	2,00	164,21
0,38	0,60	1,12	8,86	69,14	1,93	135,55
0,31	0,55	0,89	7,38	68,15	1,83	113,48
0,25	0,50	0,69	6,19	67,67	1,72	78,24
0,19	0,40	0,45	5,51	66,00	1,64	40,01
0,13	0,33	0,29	3,86	65,13	1,51	27,78
0,07	0,12	0,17	1,94	62,90	1,37	15,55
0,00	0,00	0,00	0,00	59,00	1,06	0,00

Fuente: elaboración propia

A partir de los 17 valores normalizados estimados para cada indicador en base al método del “valor medio”, son calculadas las funciones de transformación para cada indicador en base al tipo de distribución de cada rango de datos. Cada función de transformación junto a su expresión analítica puede ser consultada en la tabla 3.12 y figura 3.26.

Tabla 3.12. Funciones de transformación o utilidad de cada indicador

Indicador	Función de transformación o utilidad
Eficiencia energética	$y = -0,351x^5 + 2,4778x^4 - 6,3213x^3 + 6,7003x^2 - 1,9561x + 0,221$
Eficiencia superficial	$y = 0,2861\ln(x) + 0,5137$
Concentración PM ₁₀	$y = -0,0006x^2 + 0,0527x - 0,0528$
Ruido	$y = 4,9709\ln(x) - 20,624$
Coefficiente viario reparto	$y = 0,0067x^4 - 0,285x^3 + 1,6004x^2 - 2,4687x + 1,1505$
Efecto Barrera	$y = 0,0128x^{0,6859}$

Fuente: elaboración propia

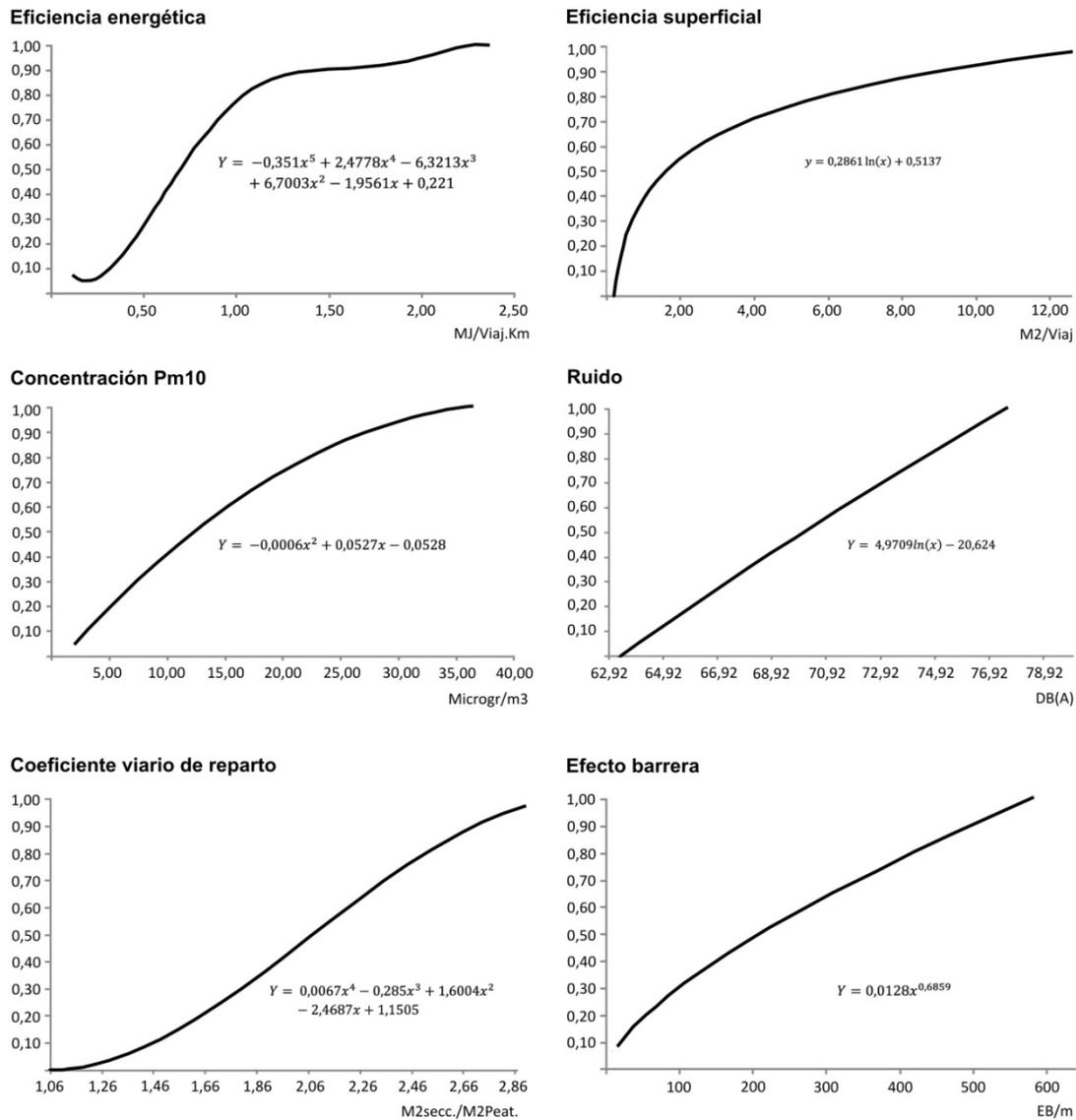


Figura 3.26. Representación gráfica de las funciones de transformación o utilidad estimadas para cada indicador. Fuente: elaboración propia

Finalmente, se han obtenido los valores normalizados por tramo y alternativa aplicando cada una de las funciones de transformación previamente expuestas. Los resultados normalizados que serán posteriormente utilizados para la obtención de un valor ambiental global pueden ser consultados en la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Resultados normalizados (0-1) para cada indicador, alternativa y tramo

Tramos	Alternativa S ₀						Alternativa S ₁					
	EE	ES	CPM ₁₀	ER	CVR	EB	EE	ES	CPM ₁₀	ER	CVR	EB
1	0,40	0,90	0,09	0,42	0,67	0,14	0,58	1,00	0,02	0,35	0,66	0,12
2	0,55	0,69	0,24	0,59	0,89	0,15	0,23	0,84	0,12	0,35	0,21	0,16
3	0,61	0,58	0,39	0,70	0,94	0,12	0,31	0,52	0,20	0,42	0,29	0,14
4	0,60	0,70	0,22	0,68	0,79	0,13	0,17	0,46	0,10	0,49	0,87	0,08
5	0,50	0,63	0,11	0,72	0,04	0,11	0,10	0,50	0,03	0,57	0,75	0,07
6	0,87	0,65	0,29	0,30	0,12	0,45	0,62	0,56	0,26	0,49	0,46	0,31
7	0,62	0,37	0,63	0,75	0,23	0,72	0,40	0,18	0,57	0,57	0,38	0,63
8	0,85	0,74	0,31	0,46	0,38	0,45	0,30	0,26	0,24	0,49	0,48	0,39
9	0,91	0,52	0,65	0,52	0,17	0,88	0,70	0,29	0,58	0,35	0,26	0,78
10	0,49	0,27	0,94	0,63	0,50	1,00	0,33	0,00	0,88	0,49	0,62	0,77
11	0,26	0,14	0,86	0,92	0,41	0,50	0,15	0,00	0,82	0,90	0,52	0,26
12	0,29	0,16	0,77	0,16	0,46	0,56	0,13	0,00	0,64	0,77	0,08	0,35
13	0,22	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,59	0,21	0,86	0,76	0,39	0,85	0,36	0,04	0,72	0,35	0,40	0,69
15	0,59	0,20	0,96	1,00	0,82	1,00	0,59	0,21	0,72	0,20	0,44	0,94
16	0,48	0,18	0,92	1,00	0,84	0,85	0,49	0,11	0,65	0,20	0,57	0,78
17	0,38	0,10	1,00	0,74	0,86	0,80	0,39	0,05	0,90	0,57	0,80	0,55
18	0,57	0,23	0,64	0,52	0,52	0,62	0,49	0,09	0,50	0,35	0,88	0,56
19	0,62	0,48	0,24	0,16	0,07	0,63	0,43	0,29	0,22	0,20	0,14	0,61
20	0,36	0,55	0,23	0,07	0,20	0,38	0,19	0,37	0,25	0,20	0,90	0,35
21	0,31	0,43	0,34	0,19	0,25	0,32	0,16	0,27	0,36	0,57	0,73	0,32
22	0,59	0,52	0,43	0,62	0,51	0,38	0,35	0,45	0,44	0,57	0,94	0,34
23	1,00	0,63	0,66	0,73	0,39	0,42	0,75	0,58	0,59	0,63	0,21	0,33
24	0,80	0,61	0,49	0,74	0,96	0,17	0,57	0,49	0,43	0,49	0,47	0,12
25	0,79	0,67	0,34	0,81	0,71	0,16	0,60	0,33	0,28	0,49	0,06	0,06

Fuente: elaboración propia

3.3.4.3. Valor ambiental global del corredor

Una vez normalizados los resultados de todos los indicadores, se puede proceder a la agregación de sus resultados. Para ello, se utilizará un sistema de elección multiatributo basado en las funciones de transformación o utilidad previamente calculadas para cada indicador (Malczewski, 1999).

La agregación de tales resultados se expresa como:

$$U_s = \sum_j w_j u_{sj}$$

Donde U_s hace referencia al valor ambiental global para la alternativa S y que será inversamente proporcional al rendimiento ambiental global del corredor, W_j expresa el peso de ponderación estimado para cada indicador j (ver resultados de la sección 4.3.4.1) y, finalmente, u_{sj} que equivale al valor normalizado de cada indicador j para cada alternativa S (ver apartado 3.3.4.2). Los resultados obtenidos por alternativa y tramo se muestran en la tabla 3.14 y figuras 3.28 y 3.29.

Tabla 3.14. Valor ambiental global en cada alternativa (S_0 y S_1) y tramo

VALOR AMBIENTAL GLOBAL (0-1)					
Tramos	S.0	S.1	Tramos	S.0	S.1
1	0,44	0,41	14	0,48	0,36
2	0,42	0,26	15	0,60	0,48
3	0,43	0,24	16	0,53	0,43
4	0,41	0,27	17	0,52	0,43
5	0,24	0,23	18	0,43	0,41
6	0,41	0,37	19	0,35	0,29
7	0,42	0,36	20	0,29	0,34
8	0,46	0,27	21	0,27	0,29
9	0,53	0,44	22	0,40	0,41
10	0,53	0,42	23	0,52	0,41
11	0,34	0,27	24	0,50	0,34
12	0,36	0,19	25	0,45	0,23
13	0,08	0,05			

Fuente: elaboración propia

En vista de los resultados obtenidos, se puede decir de forma global, la opción que representa la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0., implica un mayor rendimiento ambiental para la movilidad del corredor de acuerdo a los parámetros evaluados. Dicho incremento del rendimiento ambiental se refleja en los valores ambientales globales obtenidos en promedio para la alternativa S.0 (0,41) respecto a los obtenidos para la alternativa S.1 (0,33). Además, con excepción de los tramos 1 y 20, el resto del corredor poseen una disminución de su valor ambiental global, lo que consecuentemente supone un incremento de su rendimiento ambiental (ver figura 3.27).

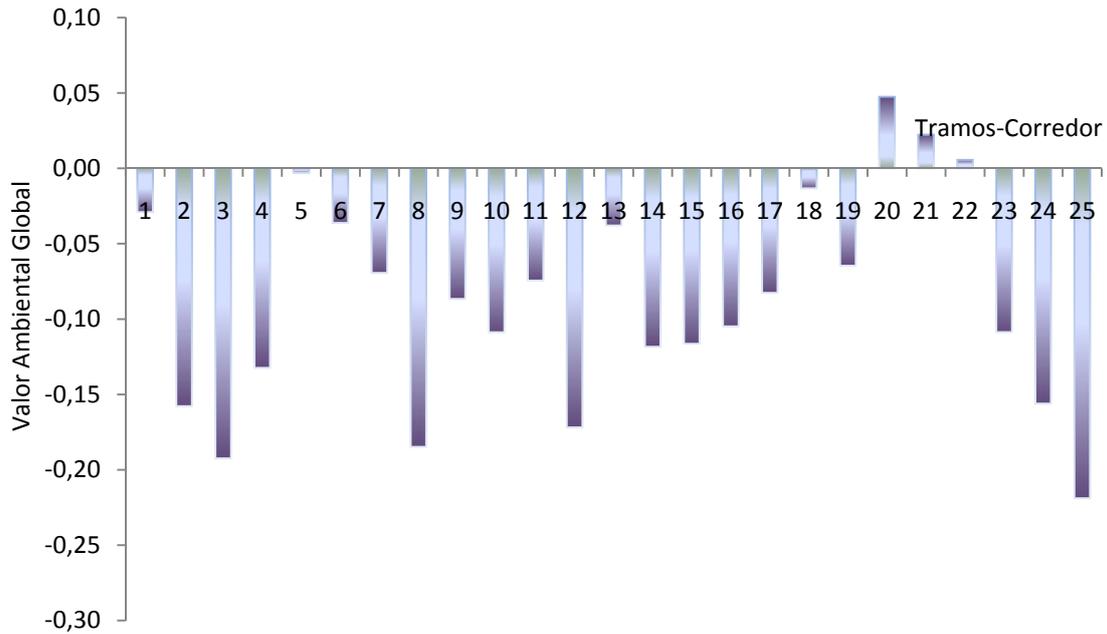


Figura 3.27. Variación del Valor Ambiental Global (0-1) en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 para cada tramo del corredor. Fuente: elaboración propia a partir de Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009), EC (2010) y Van Essen *et al* (2003)

A lo largo del corredor se pueden identificar diferentes sectores relacionados con las variaciones del valor ambiental global en la alternativa S.1 respecto de la S.0:

- El sector comprendido entre los tramos 1 y 5 entre las paradas Jacobo Camarero y Cerrillo Maracena, caracterizado por una disminución promedio del valor ambiental global del 24,2%. Los principales motivos de esa reducción son resultado, fundamentalmente, de una reducción de su concentración de PM_{10} y ruido, conjuntamente con una mejora de su coeficiente viario de reparto en los términos analizados en la investigación.
- El sector comprendido entre los tramos 6 y 19 entre las paradas Cerrillo Maracena y Palacio Deportes, caracterizado por una disminución promedio del valor ambiental global del 23,5%. Los principales motivos de esa reducción son el incremento en la eficiencia energética y superficial de la movilidad urbana (con excepción de los tramos 15, 16 y 17), conjuntamente con la disminución en la concentración de PM_{10} y efecto barrera, cambios todos ellos fuertemente relacionados con las previsiones de reducción de vehículos motorizados en este sector del corredor.
- El sector comprendido entre los tramos 20 y 22 entre las paradas Palacio de Deportes y Campus Salud I, con aumentos del valor ambiental global del 8%, especialmente consecuencia del incremento en estos tramos aquellos indicadores relativos a la emisión de residuos o desechos de la movilidad en el corredor, conjuntamente con el coeficiente viario de reparto.

- El sector comprendido entre los tramos 23 y 25 entre las paradas Campus Salud II y Poniente, caracterizado por una disminución del valor ambiental global del 33%, consecuencia especialmente del incremento en este sector del corredor del espacio público, lo que implica mejoras evidentes en indicadores como el coeficiente viario de reparto, efecto barrera, concentración de PM₁₀ y emisión de ruido.

La figura 3.28 recoge a nivel espacial, los resultados obtenidos para el valor ambiental global en cada alternativa y tramo.

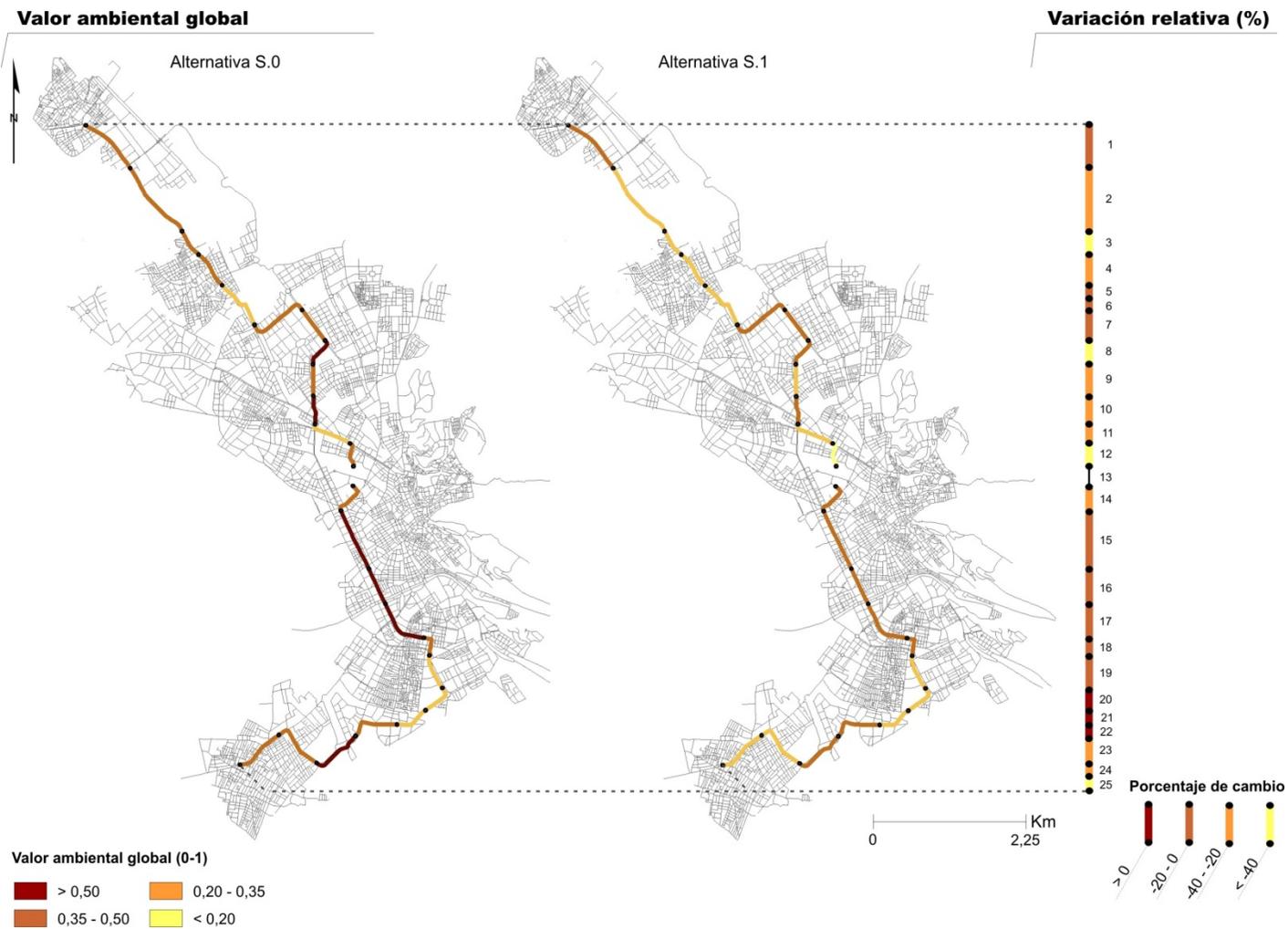


Figura 3.28. Valor ambiental global (0-1) para cada alternativa y tramo. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2008), COPT (2009), EC (2010) y Van Essen *et al* (2003)

3.4 Conclusiones

3.4.1 Sobre el sistema de indicadores

- El sistema de indicadores descansa sobre la hipótesis de un modelo conceptual relativo al funcionamiento ambiental de la movilidad urbana, compuesto por tres bloques de evaluación: (i) el uso de energía y otros recursos (“entradas”); (ii) la emisión de residuos (“salidas”); (iii) el uso modal viario del corredor (ver figura 3.1, apartado 3.2).
- En consonancia con lo anterior, han sido propuestos dos indicadores por cada uno de los bloques que componen el modelo conceptual descrito. Tales indicadores son: la eficiencia energética y eficiencia superficial de la movilidad urbana en lo relativo al bloque de “entradas”, la concentración de PM₁₀ y emisión de ruido en lo relativo al bloque de “salidas”, junto al coeficiente viario de reparto y el efecto barrera para el bloque de uso modal viario.
- De acuerdo a los objetivos enumerados al inicio del capítulo, los resultados obtenidos en cada indicador se han puesto en comparación con otros indicadores, que si bien no forman parte directa del sistema propuesto, permiten en conjunto lecturas más precisas sobre determinados enfoques que son dominantes para la investigación. Algunos ejemplos derivan de la comparación de los resultados obtenidos con indicadores como los viajeros-km transportados o con el reparto modal viario.
- Sobre la base de la definición mostrada por De Borger *et al* (2002) acerca de que los sistemas de evaluación del rendimiento debían mostrar una visión de diferentes aspectos que podrían ser tenidos en cuenta para valorar el funcionamiento de un sistema dado, los indicadores propuestos aportan lecturas tanto parciales (a nivel individual o por bloques de acuerdo al modelo conceptual propuesto), como lecturas globales de acuerdo al proceso de agregación de resultados mostrado (ver apartado 3.2.3). La figura 3.29 y 3.30 recoge una representación espacial de las posibilidades de lectura parcial y global del sistema propuesto para cada una de las alternativas evaluadas en el caso de estudio.

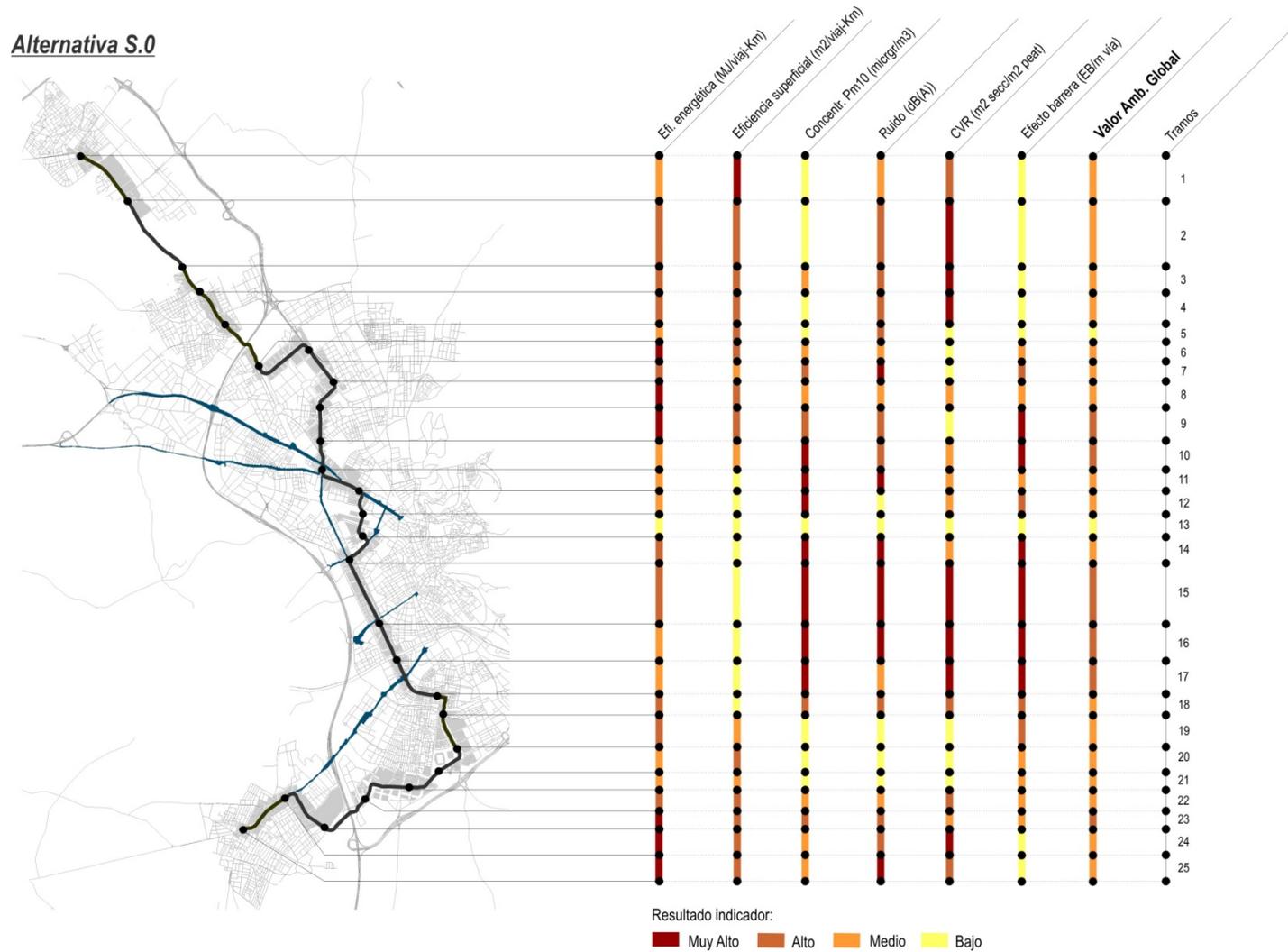


Figura 3.29. Representación cualitativa de los resultados de cada indicador en la alternativa S.0. Fuente: elaboración propia

Alternativa S.1

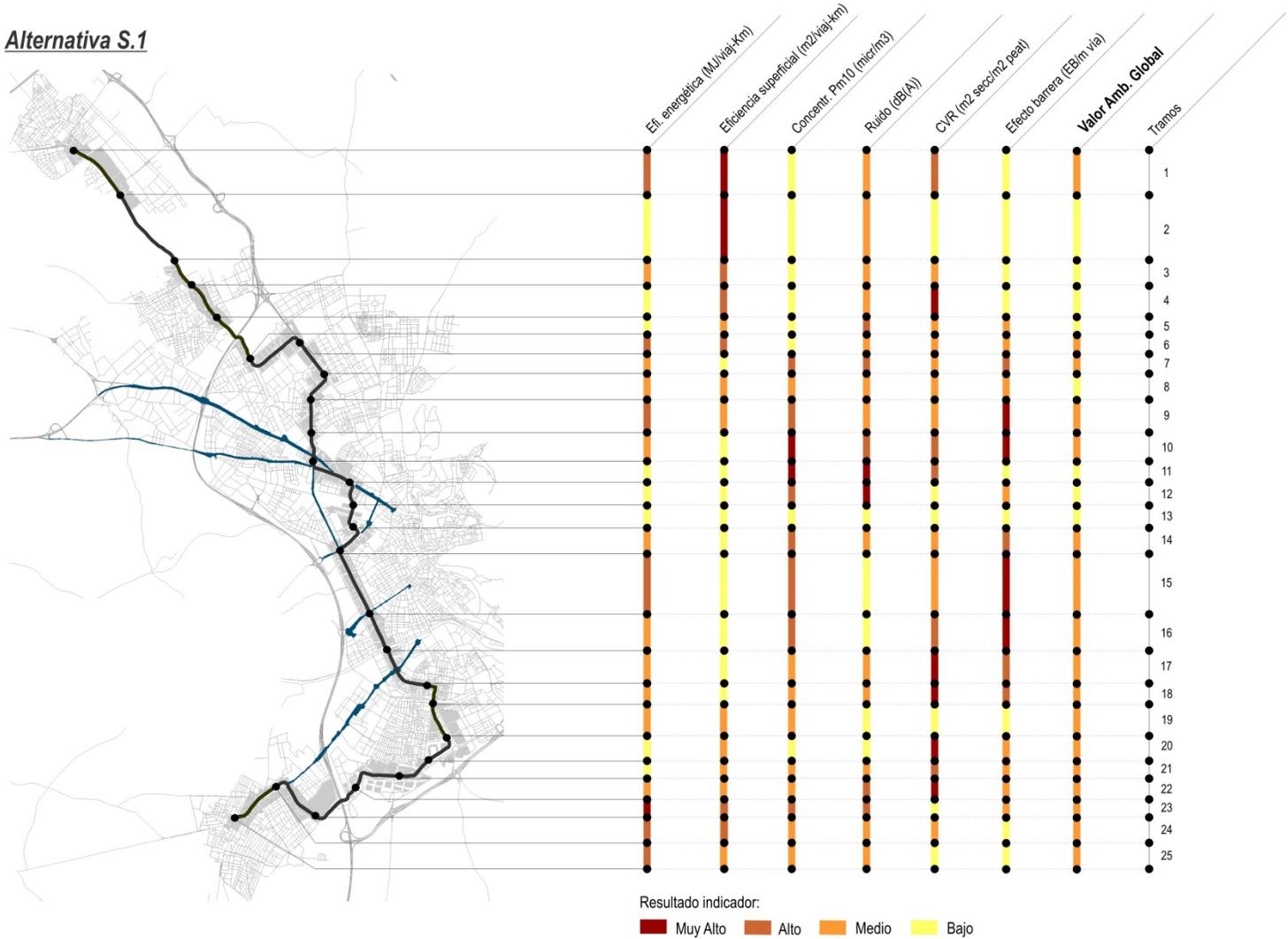


Figura 3.30. Representación cualitativa de los resultados de cada indicador en la alternativa S.1. Fuente: elaboración propia

- En cuanto a los resultados obtenidos en el caso de estudio, con la excepción del coeficiente viario de reparto, la opción que representa la alternativa S.1 supone una mejora para todos los indicadores de rendimiento ambiental del corredor respecto de la alternativa S.0. La tabla 3.15 sintetiza los valores promedio obtenidos en cada indicador para el total de tramos del corredor.

Tabla 3.15. Resultados promedio para el total de tramos del corredor en cada alternativa evaluada

INDICADOR	ALTERNATIVA S.0	ALTERNATIVA S.1
Eficiencia energética de la movilidad (MJ/viaj-Km)	0,83	0,58
Eficiencia superficial de la movilidad (m ² /viaj-Km)	1,30	0,87
Concentración de PM 10 (µgr/m ³)	13,74	10,89
Emisión de ruido (dBA)	70,65	68,8
Coeficiente viario de reparto (m ² calz/ m ² peat)	2,07	2,04
Efecto barrera (EB/m)	2,22	1,86

- Para la obtención de un valor agregado indicativo del rendimiento ambiental global se ha realizado un panel de expertos con 50 participantes a partir del cual se han estimado pesos ponderados para cada indicador, en segundo lugar se ha procedido a la normalización de los resultados obtenidos, para finalmente, proceder a su agregación mediante técnicas de elección multiatributo.
- En promedio para el conjunto de tramos del corredor, el valor ambiental global resultado de la agregación parcial de cada indicador, muestra que la opción representada por la alternativa S.1 es aquella que posee un mayor rendimiento ambiental respecto de la alternativa S.0, ya que el valor ambiental global promedio es de 0,41 en la alternativa S.0 y de 0,33 en la alternativa S.1.

3.4.2 Sobre los resultados del sistema de evaluación y las transformaciones del corredor de cada alternativa

- Uno de los objetivos principales del sistema de indicadores, reside en su capacidad para poner en relación aspectos del funcionamiento ambiental de la movilidad urbana, con cuestiones relativas a las principales transformaciones que cada alternativa induce en el corredor y que son reveladoras del enfoque dominante de esta investigación. En base a lo anterior, los resultados obtenidos para cada indicador han sido analizados sobre cuatro bloques estructurantes que sintetizan la capacidad transformadora de las alternativas evaluadas. Tales bloques son: coexistencia modal viaria, calidad ambiental, eficiencia ambiental y espacio público (ver apartado 3.1.1).

- Los indicadores relativos al uso de energía y otros recursos en el corredor, son aquellos que muestran una relación más evidente con los cambios en la coexistencia modal viaria entre alternativas. Por ejemplo, en aquellos tramos donde los niveles de coexistencia modal viaria permanecen inalterados entre alternativas (tramos 15, 16 y 17), en ningún caso se produce una mejora ni tanto de los MJ/viaj-Km como de los $m^2/viaj-Km$. Por el contrario, en aquellos casos en los que existe una mejora muy evidente de los niveles de coexistencia modal viaria, siempre tiene lugar una mejora de los $m^2/viaj-Km$. Junto a éstos, el coeficiente viario de reparto es otro indicador cuyos resultados guardan cierta relación con la coexistencia modal viaria entre alternativas, de esta forma, se percibe de los resultados obtenidos, que aquellos cambios orientados a incrementar notablemente la coexistencia modal viaria, suponen mayoritariamente un aumento del coeficiente viario de reparto, consecuencia del mayor espacio destinado a la calzada.
- Los indicadores relativos a los bloques de emisión de residuos o desechos y uso modal viario, son los indicadores que poseen una mayor incidencia sobre la calidad ambiental del corredor, de acuerdo a la acotación terminológica realizada en la introducción del capítulo. Con excepción del coeficiente viario de reparto, cuyos valores permanecen constantes entre las alternativas evaluadas, los otros tres indicadores que componen los dos bloques de evaluación citados (concentración de PM_{10} , emisión de ruido y efecto barrera), suponen un incremento positivo de la calidad ambiental del corredor en la opción representada por la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, lo que fortalecería el posible uso del corredor en la alternativa S.1 como espacio de encuentro, ocio, descanso, etc. por parte de sus usuarios y residentes.
- La eficiencia ambiental del corredor ha sido evaluada a partir de los indicadores relativos al uso de energía y otros recursos por parte de la movilidad. De esta forma, se ha detectado un claro patrón de correspondencia entre los viajes-km transportados y el consumo tanto energético como superficial de la movilidad del corredor, donde: (i) reducciones en la previsión de viajes-km transportados implica un aumento sistemático de los MJ/viaj-km y $m^2/viaj-km$, poniendo de manifiesto la escasa capacidad de las alternativas evaluadas de regular el consumo energético superficial a partir de su ordenación y gestión modal viaria; (ii) incrementos hasta el 30% de los viajes-km transportados suponen una disminución moderada de los MJ/viaj-Km y $m^2/viaj-km$; (iii) incrementos de los viajes-Km por encima del 30% inducen las reducciones más intensas tanto de MJ/viaj-Km como de $m^2/viaj-Km$ (ej. tramos 8 y 9).

Tabla 3.16. Resultados de cada indicador y principales rasgos transformadores de las alternativas evaluadas

INDICADOR	COEXISTENCIA MODAL VIARIA	CALIDAD AMBIENTAL	EFICIENCIA AMBIENTAL	ESPACIO PÚBLICO
Eficiencia energética de la movilidad	-Tramos sin cambios en la coexistencia modal entre alternativas, en ningún caso experimentan disminuciones de los MJ/viaj-Km utilizados (ej. tramos 15, 16 y 17)		-Aumentos hasta un 30% de los viaj-Km suponen disminuciones moderadas de los MJ/viaj-Km -Aumentos mayores al 30% suponen reducciones intensas de los MJ/viaj-Km (ej. tramos 8 y 9)	-Incrementos por encima del 30% en la dotación del espacio público siempre implican aumentos en la eficiencia energética (ej. tramos 12, 24 y 25)
Eficiencia superficial de la movilidad	-Tramos sin cambios en la coexistencia modal entre alternativas, en ningún caso experimentan disminuciones de los m ² /viaj-Km utilizados (ej. tramos 15, 16 y 17) -Tramos con mejoras importantes en sus niveles de coexistencia modal, en todos los casos mejoran los m ² /viaj-Km utilizados (ej. tramos 12, 20 y 21)		-Aumentos hasta un 30% de los viaj-Km suponen disminuciones moderadas de los m ² /viaj-Km -Aumentos mayores al 30% suponen reducciones intensas de los m ² /viaj-Km (ej. tramos 8 y 9)	
Concentración de PM 10		-La disminución de $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ supone un aumento de la calidad ambiental del corredor, situación que ocurre mayoritariamente en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0		-Tramos donde se reduce la dotación de espacio público, sistemáticamente se incrementan los $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ diarios de PM ₁₀ (ej. 20, 21 y 22)
Emisión de ruido (dBA)		-La disminución de dB(A) supone un aumento de la calidad ambiental del corredor, situación que ocurre mayoritariamente en la alternativa		-Tramos donde se reduce la dotación de espacio público, sistemáticamente se incrementan

		S.1 respecto de la alternativa S.0		los dB(A) diarios de PM ₁₀ (ej. 20, 21 y 22)
Coeficiente viario de reparto	-Tramos que incrementan sus niveles de coexistencia modal, suelen incrementar su coeficiente viario de reparto (ej. tramos 20y 21)	- <i>La disminución</i> del coeficiente viario de reparto supone un aumento de la calidad ambiental del corredor. Los resultados obtenidos muestran que este indicador permanece inalterado entre las alternativas evaluadas		- <i>Alta correlación derivada del propio diseño del indicador</i>
Efecto barrera		- <i>La disminución de EB/m</i> supone un aumento de la calidad ambiental del corredor, situación que ocurre mayoritariamente en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0		- <i>En algunos casos el incremento de espacio público ha supuesto una mejora del efecto barrera (ej. tramos 23, 24 y 25)</i>

- Los indicadores que poseen una relación más directa con el espacio público son los relativos a la emisión de residuos o desechos por parte de la movilidad urbana, conjuntamente con el coeficiente viario de reparto. En cuanto a la concentración de PM₁₀ y emisión de ruido, la dotación de espacio público entre alternativas fomenta alejar la fuente de emisión contaminante de la edificación, lo que supone una reducción de su efecto negativo. Algunos ejemplos destacados son los tramos 15, 16, 20, 21, 22 y 24 (ver figuras 3.15 y 3.18, apartado 3.3.2). En el caso del coeficiente viario de reparto, el diseño del propio indicador, dependiente de la superficie destinada a modos no motorizados, hace que exista una correlación fuerte entre dicha dotación de espacio público entre alternativas y el propio coeficiente viario de reparto.

3.4.3 Sobre la aportación del sistema de indicadores al modelo de umbrales ambientales

- El sistema de indicadores planteado y aplicado al caso de estudio, supone la base sobre la que articular el desarrollo del *modelo de umbrales ambientales*.
- El análisis realizado pone de manifiesto la capacidad de los indicadores utilizados para comparar diferentes alternativas sobre la base del funcionamiento ambiental de la movilidad, lo que refuerza el núcleo central del *modelo*, orientado a la comparación y selección de alternativas.
- Todos los indicadores que componen el sistema de evaluación tienen un carácter cuantitativo que sirve de soporte para la posterior estimación de umbrales ambientales (ver capítulo 4).
- Sobre los resultados de los indicadores propuestos, caben lecturas comparadas en función de las características urbanas del entorno del corredor, lo que dotará al sistema de evaluación de una mayor precisión para el diagnóstico ambiental (ver capítulo 5).
- Finalmente, el diseño de los indicadores se ha realizado sobre diferentes factores que constituyen el escenario de movilidad que representa cada una de las alternativas planteadas, constituyendo un conjunto de factores sobre los que poder articular posibles decisiones para la planificación del corredor, que hagan del *modelo de umbrales* un instrumento de evaluación ambiental proactivo en la toma de decisiones (ver capítulo 6). Tales factores son: el flujo modal, la ocupación modal de pasajeros, el uso modal de la vía etc.

CAPÍTULO 4
UMBRALES DE TENDENCIA AMBIENTAL

CAPÍTULO 4. UMBRALES DE TENDENCIA AMBIENTAL

ÍNDICE

4.1	Introducción y objetivos	.....	173
4.2	Método para la estimación de umbrales ambientales	.....	174
4.2.1	Fase 1ª. Modelo conceptual	.....	174
4.2.2	Fase 2ª. Procedimiento para la estimación de umbrales ambientales	.....	176
4.2.2.1	Umbrales de indicadores regulados a nivel normativo	.....	177
4.2.2.2	Umbrales de indicadores no regulados a nivel normativo	.....	177
4.3	Umbrales del sistema de indicadores	.....	179
4.3.1	Indicadores con regulación normativa	.....	179
4.3.1.1	Eficiencia energética de la movilidad urbana	.....	179
4.3.1.2	Concentración de PM ₁₀	.....	181
4.3.1.3	Emisión de ruido	.....	182
4.3.2	Indicadores sin regulación normativa	.....	185
4.3.2.1	Reparto viario en base a la superficie viaria no motorizada	.....	186
4.3.2.2	Propuesta de ordenación modal para el umbral de calidad y de impacto	.....	191
4.3.2.3	Estimación final de umbrales ambientales	.....	194
4.4	Umbrales ambientales y comparación de alternativas	.....	195
4.4.1	Indicadores relativos al uso de energía y otros recursos	.....	195
4.4.1.1	Eficiencia energética de la movilidad urbana	.....	195
4.4.1.2	Eficiencia superficial de la movilidad urbana	.....	200
4.4.2	Indicadores relativos a la emisión de residuos	.....	205
4.4.2.1	Concentración de PM ₁₀	.....	205
4.4.2.2	Emisión de ruido	.....	209
4.4.3	Indicadores relativos al uso modal viario	.....	214
4.4.3.1	Coefficiente viario de reparto	.....	214
4.4.3.2	Efecto barrera	.....	219
4.4.4	Valor ambiental global	.....	223
4.5	Conclusiones	.....	227
4.5.1	Sobre el método utilizado para estimar umbrales ambientales	.....	227
4.5.2	Sobre los umbrales ambientales en la comparación de alternativas	.....	228
4.5.3	Sobre los intervalos de transición	.....	229

Resumen

El capítulo propone un marco metodológico para la adopción de umbrales ambientales de la movilidad urbana, llevando a cabo una aplicación práctica en el caso de estudio de la investigación.

La propuesta consiste en la estimación de dos umbrales ambientales por cada indicador que conforma el sistema de evaluación, uno de calidad (UCC) y otro de impacto (UCI). El umbral crítico de calidad (UCC) hace referencia a un valor óptimo del indicador, por debajo del cual, las consecuencias ambientales de la movilidad son muy bajas o nulas. Por otro lado, el umbral crítico de impacto (UCI) hace referencia a un valor del indicador, por encima del cual, las consecuencias ambientales de la movilidad son graves.

Tales umbrales permiten delimitar para cada indicador, tres posibles niveles de rendimiento ambiental: óptimo, aceptable y negativo. Para estimar los umbrales ambientales se tomará como referencia la existencia de normativa reguladora, conjuntamente con el diseño de tramos tipo del corredor que representen situaciones de calidad e impacto.

Abstract

The chapter proposes a methodological framework to determine environmental thresholds for urban mobility. Then, a practical application will be developed on the study case.

Two environmental thresholds are estimated for each indicator: (i) Quality critical threshold (QCT) and; (ii) Impact critical threshold (ICT). On the one hand, the QCT is an optimum value of indicator where the environmental consequences of mobility are very low. On the other hand, the ICT is an impact value of indicator where the environmental consequences are very serious.

The adoption of two thresholds determines three levels of environmental performance for each indicator: optimum, acceptable and negative. The estimation of thresholds is based on two questions: (i) The existence of regulation normative; (ii) The definition of standard section in the corridor.

4.1 Introducción y objetivos

El capítulo se ocupa de la segunda parte del *modelo de umbrales ambientales*, centrando sus contenidos en la estimación de umbrales de tendencia ambiental (en adelante umbrales ambientales) para cada uno de los indicadores que componen el sistema de evaluación planteado en el capítulo 3. La utilidad de adoptar umbrales ambientales en la evaluación de la movilidad, reside esencialmente en el hecho de definir intervalos de rendimiento ambiental que aporten nuevas lecturas tanto en el planteamiento de posibles alternativas, como en su comparación posterior.

Inspirado en el modelo de toma de decisiones "*The flag model*" (Nijkamp, 2004) (Deakin *et al*, 2007), donde se definen diferentes tendencias de sostenibilidad en base a la definición de valores umbrales críticos para cada uno de los factores que integran el proceso de toma de decisión¹, el objetivo central del capítulo reside en la estimación por cada indicador, de 2 umbrales críticos de tendencia ambiental, uno de calidad (UCC) y otro de impacto (UCI), que delimiten 3 posibles niveles de rendimiento: óptimo, aceptable y negativo.

El capítulo se estructura en 4 partes. La primera parte expone el modelo conceptual sobre el que se basa la definición de umbrales ambientales, conjuntamente con su método de estimación. La segunda y tercera parte se centran en la adopción de umbrales en el caso de estudio, profundizando en la comparación de las dos alternativas planteadas (alternativa S.0 y alternativa S.1), para finalmente, en la cuarta y última parte comentar las principales conclusiones obtenidas a lo largo del capítulo.

Los objetivos a alcanzar son:

- Realizar una propuesta metodológica para la estimación de umbrales de tendencia ambiental en corredores de movilidad urbana.
- Estimar umbrales ambientales de calidad (UCC) y de impacto (UCI) para el corredor del área metropolitana de Granada, profundizando en la comparación de las alternativas planteadas.
- Obtener conclusiones sobre la complementariedad de los resultados obtenidos con el sistema de indicadores propuesto en el capítulo 3 y su contribución al *modelo de umbrales ambientales*

¹ El *modelo de umbrales ambientales* de esta investigación toma como referencia "*The Flag Model*" en lo que respecta a la estimación de valores umbrales de tendencia para comparar alternativas. A diferencia de éste:

- No aborda una perspectiva integral de la sostenibilidad a través de sus tres componentes: social, económica y ambiental, sino que se centra en el rendimiento ambiental bajo las líneas establecidas en los capítulos 1 y 3.
- La estimación de niveles umbrales estará basada en un proceso metodológico que implica, la aplicación de normativa vinculante para cada indicador que compone la evaluación, a la vez que se tiene en cuenta las particularidades del caso de estudio donde se aplica el modelo.

4.2. Método para la estimación de umbrales ambientales

El método está compuesto de dos fases principales. En primer lugar, se ocupa de la definición de un modelo conceptual para la adopción de umbrales ambientales. En segundo lugar, se expone el procedimiento de estimación de tales umbrales para cada uno de los indicadores que componen sistema de evaluación, en función de la posibilidad de aplicar regulación normativa en cada caso (ver figura 4.1).

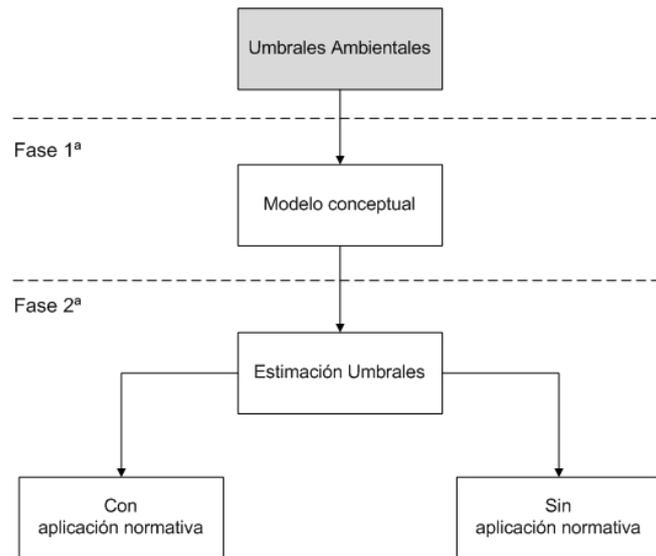


Figura 4.1. Fases metodológicas para la estimación de umbrales ambientales. Fuente: elaboración propia

4.2.1. Fase 1ª. Modelo conceptual

Considerando que cada indicador que conforma el sistema de evaluación representa una medida del rendimiento ambiental parcial del corredor, el objetivo central reside en estimar dos valores umbrales, uno máximo (umbral crítico de impacto) y otro mínimo u óptimo (umbral crítico de calidad) para cada indicador, de manera que puedan ser delimitados tres posibles niveles de rendimiento ambiental, que harían referencia a un *rendimiento negativo* (para aquellos resultados del indicador superiores a su umbral crítico de impacto), *rendimiento aceptable* (para aquellos resultados del indicador inferiores a su umbral crítico de impacto y superiores al umbral crítico de calidad) y *rendimiento óptimo* (para aquellos resultados del indicador inferiores al umbral crítico de calidad) (ver figura 4.2).

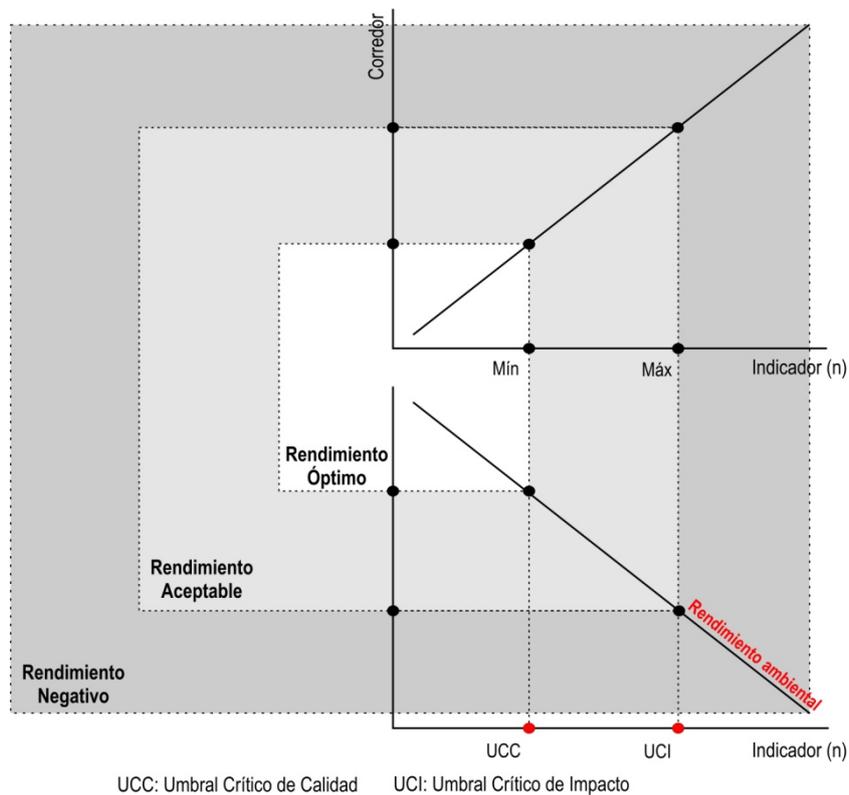


Figura 4.2. Modelo conceptual para la estimación de umbrales ambientales

De este modo, la propuesta realizada reside sobre la definición de dos umbrales ambientales:

- *Umbral crítico de calidad (UCC)*, hace referencia a un valor mínimo u óptimo para cada indicador n , por debajo del cual, las consecuencias ambientales derivadas de la movilidad en el corredor serían muy bajas o prácticamente nulas.
- *Umbral crítico de impacto (UCI)*, hace referencia a un valor máximo para cada indicador n , por encima del cual, las consecuencias ambientales en el corredor serían graves.

Tales umbrales permitirían establecer tres niveles de rendimiento ambiental para el corredor:

- *Rendimiento Óptimo*: representado para cada indicador n por aquellos valores inferiores al *umbral crítico de calidad* estimado, siendo representativo de una tendencia ambiental positiva (ver figura 4.3). Este nivel de rendimiento será revelador de tramos del corredor con consecuencias ambientales muy bajas o nulas.
- *Rendimiento Aceptable*: representado para cada indicador n por aquellos valores superiores al *umbral crítico de calidad* e inferiores al *umbral crítico de impacto*, siendo representativo de una tendencia ambiental neutra que puede ser positiva o negativa según evolucione en cada una de las alternativas (ver figura 4.3). Este nivel de rendimiento será revelador de tramos del corredor con consecuencias ambientales asumibles o aceptables.

- *Rendimiento Negativo*: representado para cada indicador n por aquellos valores superiores al *umbral crítico de impacto* estimado, siendo representativo de una tendencia ambiental negativa (ver figura 4.3). Este nivel de rendimiento será revelador de tramos del corredor con consecuencias ambientales negativas o graves.

Además de los tres niveles de rendimiento descritos, con la intención de graduar con mayor precisión los posibles cambios existentes entre las alternativas que se evalúan, se identificará un *intervalo de transición* entre tales niveles de rendimiento, equivalente a un $\pm 5\%$ del valor umbral.

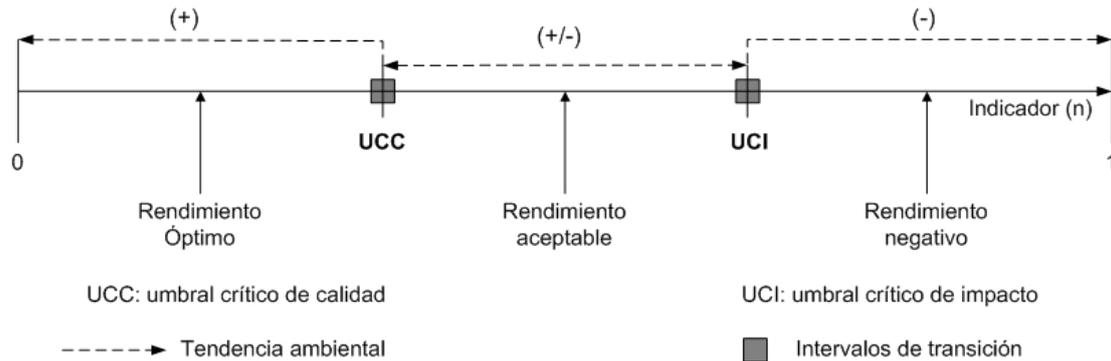


Figura 4.3. Niveles de rendimiento y tendencia ambiental del corredor en base a umbrales de calidad e impacto. Fuente: elaboración propia

4.2.2. Fase 2ª. Procedimiento para la estimación de umbrales ambientales

Es importante a la hora de establecer un procedimiento para la estimación de umbrales ambientales, distinguir entre aquellos que se encuentran regulados a nivel normativo de los que no lo están. De forma general, en el caso de que los resultados de un indicador posean regulación normativa a nivel europeo, estatal o regional (Andalucía), por ejemplo, la emisión de ruido, se tomará a ésta como referencia para establecer sus valores umbrales. En el caso de que el indicador en cuestión no esté regulado a nivel normativo, por ejemplo, la eficiencia superficial de la movilidad urbana, se seguirá un procedimiento para la obtención de sus valores umbrales basados en el planteamiento de tramos tipo representativos de situaciones de calidad e impacto, tomando como referencia características particulares del corredor. La tabla 4.1 compara algunos rasgos significativos de aquellos umbrales ambientales derivados de la regulación normativa existente de los que no lo están.

Tabla 4.1. Características de umbrales ambientales CON Y SIN regulación normativa.

Umbrales CON normativa reguladora	Umbrales SIN normativa reguladora
Generales	Específicos
Directamente aplicables	Requieren estimación previa
Umbrales exportables	Método de estimación exportable
Reconocimiento “global”	Sujetos a particularidades del contexto
Derivan de una concienciación ambiental	Generan concienciación ambiental

Fuente: elaboración propia

4.2.2.1. Umbrales de indicadores regulados a nivel normativo

Dentro de los indicadores que integran el sistema de evaluación propuesto en esta investigación, la eficiencia energética, la concentración de PM₁₀ y la emisión de ruido, tienen algún tipo de regulación normativa.

En cualquiera de los tres indicadores mencionados, el método seguido para la adopción de sus niveles umbrales de calidad y de impacto (UCC y UCI), ha consistido en la revisión de las fuentes normativas que regulan sus resultados a diferentes escalas competenciales (europea, estatal y regional), para finalmente seleccionar de entre los valores regulados para cada indicador, aquellos más convenientes al caso específico que ocupa a esta investigación.

4.2.2.2. Umbrales de indicadores no regulados a nivel normativo

El resto de indicadores que integran el sistema de evaluación propuesto, la eficiencia superficial, el coeficiente viario de reparto y el efecto barrera, no tienen ningún tipo de regulación a nivel normativo, situación que implica la necesidad de desarrollar un procedimiento específico para la estimación de sus valores umbrales.

Para ello, se ha diseñado un procedimiento que consiste en proponer 2 tramos tipo del corredor, uno de calidad y otro de impacto, que se utilizarán para calcular los umbrales respectivos.

Hasta la obtención de los tramos tipo y sus umbrales ambientales, el procedimiento consta de las siguientes tres fases:

- 1) *Reparto del espacio viario* a partir de establecer requerimientos mínimos y óptimos de superficie viaria no motorizada. El objetivo central de esta parte del proceso es la de obtener un primer nivel de reparto del espacio viario de los tramos tipo, sobre las que posteriormente avanzar en la estimación de sus valores umbrales. De esta forma:
 - a. *La superficie no motorizada mínima* hace referencia a aquella superficie por debajo de la cual no se podrían cumplir con los objetivos del corredor desde el punto de vista de unos principios movilidad urbana sostenible.
 - b. *La superficie no motorizada óptima* hace referencia a la superficie idónea para el cumplimiento de tales objetivos de movilidad urbana sostenible por parte del corredor.

- 2) *Propuestas de ordenación modal de calidad y de impacto* a partir de los siguientes aspectos:
 - a. Mantener la superficie no motorizada mínima en el caso del umbral de impacto y la superficie óptima en el umbral de calidad.
 - b. Elección de modos de transporte que componen el corredor para el espacio de calzada de cada tramo tipo, tanto de calidad como de impacto, en base a la eficiencia ambiental de cada modo de transporte.

- 3) Estimación final de umbrales ambientales en base a los dos tramos tipo propuestos.

La tabla 4.2 recoge algunas orientaciones de cara a la propuesta de tramos tipo de calidad e impacto.

Tabla 4.2. Características de los tramos tipo en el caso de estudio

Tramo tipo de calidad Umbral Crítico de Calidad (UCC)	Tramo tipo de impacto Umbral Crítico de Impacto (UCI)
-Basada en la superficie no motorizada óptima	-Basada en la superficie no motorizada mínima
-Coexistencia viaria de los diferentes modos de transporte que componen el corredor	-Prioridad para el vehículo privado por su menor eficiencia ambiental
-Incluye el sistema de metro ligero como elemento central de la propuesta	-No se considera el metro ligero en la propuesta
-Plataforma reservada para transporte público	-Sin plataformas reservadas para transporte público

4.3 Umbrales del sistema de indicadores

Este apartado contiene los umbrales ambientales estimados, tanto de calidad como de impacto, para cada uno de los indicadores que conforman el sistema de evaluación propuesto en el capítulo 3.

4.3.1 Indicadores con regulación normativa

Los indicadores cuyos resultados poseen una regulación normativa son: la eficiencia energética, la concentración de PM₁₀ y la emisión de ruido. A continuación, para cada uno de ellos, se detallará la revisión normativa realizada, junto a los umbrales ambientales adoptados en cada caso.

4.3.1.1. Eficiencia energética de la movilidad urbana

La eficiencia energética de la movilidad urbana, medida en MJ/viaj-km, supone una valoración inicial del grado de afección ambiental desde una dimensión global. Esto es consecuencia de que el uso de energía implica la emisión de una gran cantidad de gases a la atmósfera, especialmente cuando su uso proviene del consumo de petróleo como indica el Libro Blanco del Transporte de la Unión Europea (CE, 2011). Por esta razón, comúnmente, la energía consumida en un determinado proceso es utilizada para estimar la emisión de CO₂, siendo indicativa de efectos ambientales a una escala más global que otros indicadores. Este sistema de conversión es utilizado por ejemplo en la Unión Europea, para la elaboración de su informe estadístico anual sobre energía y transporte (EC, 2010).

De este modo, a diferencia de otros sectores donde se trata de regular de manera específica y directa el uso de la energía, como por ejemplo, en lo relativo a la edificación, por medio de la Directiva 91/2002 *de eficiencia energética y sostenibilidad*, no existe una regulación específica sobre el uso de la energía para el sector del transporte. Ahora bien, sí se ha regulado a nivel de emisiones de CO₂ para este sector, por lo que asumiendo dicha relación entre energía utilizada y niveles de CO₂ producidos, será esta normativa relativa a la emisión de CO₂ la utilizada para la adopción de umbrales ambientales de eficiencia energética.

Derivado de lo anterior, cabe destacar que es muy reciente la regulación de emisiones de CO₂ en el sector del transporte, a pesar de la existencia desde 1970 de la Directiva 70/220/CEE *sobre aproximación de las legislaciones en contaminación atmosférica*, así como, de sus sucesivas modificaciones entre 1993 y 2005, fecha donde por primera vez se regula sobre la emisión de CO₂ en el sector de los automóviles².

Consecuencia del aumento de la conciencia ambiental tras la Cumbre de Río de Janeiro en 1992, en el año 1995 se produce un hito relevante respecto de la regulación de emisiones de CO₂ en el sector del transporte. En este año, se aprueba la *“Estrategia Común para reducir las emisiones de CO₂ por pasajero en coche”* (CEC, 1995). Dado que en ese momento los niveles de

² Dichas modificaciones de la Directiva 70/220/CEE reciben sucesivamente la siguiente denominación: Euro 1 (1993), Euro 2 (1996), Euro 3 (2000), Euro 4 (2005) y, finalmente, Euro 5 (2008/2009). Hasta la adopción de la Euro 5 (2008/2009), tanto la Directiva 70/220/CEE como sus sucesivas modificaciones, se encargan de regular exclusivamente la emisión de CO, HC, NO_x y PM por parte del parque automovilístico.

CO₂ derivados del uso del vehículo privado alcanzaban el 26% de las emisiones totales de CO₂ de la Unión Europea (CEC, 1995), el objetivo marcado en esa propuesta era alcanzar una emisión máxima de 120 gr CO₂/veh-Km para el nuevo parque de vehículos del año 2000. La falta de consenso en relación con la propuesta de la comisión europea en esta materia, impidió que se regulase sobre la misma, a cambio de obtener el compromiso de los estados miembros de alcanzar dicho tope de emisión a través de acuerdos con la industria del sector.

En el año 1998, tras la Cumbre sobre Cambio Climático de Kioto y en vistas a no poder cumplir con los objetivos fijados en 1995, la Comisión Europea aprueba una nueva estrategia denominada "*Transporte y CO₂. Elaboración de un planteamiento comunitario*" (CEC, 1998), donde además de reconocer lo positivo de los avances en la reducción de CO₂ en el sector del transporte y en especial de los vehículos privados como consecuencia de la estrategia del año 1995, se reconoce que no es posible cumplir con el máximo de 120 gr CO₂/veh-Km para el año 2000, prorrogando el acuerdo hasta 2005. De nuevo, la falta de consenso evitó desarrollar normativa reguladora al respecto, a cambio de obtener el compromiso de los estados miembros.

Finalmente, el 23 de Abril de 2009, en el marco de la Euro 5 (2008/2009) es aprobado el reglamento por el que se *establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los turismos nuevos como parte del enfoque integrado de la Comunidad para reducir las emisiones de CO₂ de los vehículos ligeros*. Este reglamento se apoya sobre los hitos descritos en los años 1995 y 1998 en relación con las dificultades para cumplir con los acuerdos alcanzados a partir exclusivamente del compromiso de los estados miembros. A este respecto, el artículo primero relativo a objeto y objetivos de dicho reglamento, fija un valor óptimo de emisión para turismos de 120 gr CO₂ /veh-km para el año 2012.

Tomando como referencia el último informe estadístico de la Unión Europea sobre transporte y energía (EU, 2010), donde se señala a los vehículos ligeros como los principales responsables de las emisiones de gases efecto invernadero por encima del resto de modos de transporte urbano, se adoptarán como valores umbrales los niveles de consumo energético por viajero-Km asociados a tales niveles máximos de emisión de CO₂ para vehículos ligeros. De este modo, como umbral crítico de impacto (UCI) se considerará el valor de 96 gr CO₂/viaj-km, correspondiente al máximo permitido por vehículo y suponiendo una ocupación mínima 1,25 viajeros/veh, equivalente a la ocupación media estimada por el Libro Blanco del Transporte en la Unión Europea en el caso de la movilidad urbana (CE, 2011), junto con los últimos informes del Observatorio de la Movilidad Urbana en España (OMU, 2008). Por otro lado, como umbral crítico de calidad (UCC) se considerará el valor de 40 gr CO₂/viaj-Km, correspondiente a la emisión máxima permitida de CO₂/viaj-Km para una ocupación del vehículo superior al 50% (3 viajeros), tomando como referencia de ocupación de viajeros para turismos, los objetivos marcados en el Libro Blanco del Transporte de la Unión Europea (CE, 2011) en relación con la movilidad urbana para el periodo 2012 - 2015.

Para la conversión de los niveles umbrales de impacto y calidad relativos a gr de CO₂/viaj-km a valores de eficiencia energética en MJ/viaj-km, ha sido considerado un factor de conversión de 69,10grCO₂/MJ de acuerdo a los datos de emisión de CO₂ y energía consumida por el parque automovilístico español, los cuales han sido publicados en el informe estadístico de la Unión Europea sobre transporte y energía para el año 2010 (EU, 2010).

La tabla 4.3 muestra los umbrales de calidad y de impacto en valores de Mj/viaj-Km para el caso particular de la eficiencia energética de la movilidad urbana.

Tabla 4.3. Umbrales ambientales para la eficiencia energética de la movilidad urbana

Umbrales ambientales	Eficiencia energética de la movilidad urbana (MJ/viaj-km)
Umbral crítico de impacto (UCI)	1,37
Umbral crítico de calidad (UCC)	0,57

Fuente: elaboración propia a partir de EU (2010)

4.3.1.2. Concentración de PM₁₀

Medir la concentración de PM₁₀ derivada de la movilidad urbana es indicativo de la posible afección a la calidad del aire local y, consecuentemente a la salud pública de los usuarios del corredor. El tracto respiratorio humano no es capaz de retener partículas sólidas de tamaños menores a 10 µm, pudiendo ocasionar daños a corto plazo como agravamientos de asma o favorecer enfermedades cardiovasculares, mientras que una exposición continuada puede suponer el desarrollo de enfermedades respiratorias crónicas, cáncer e incluso muerte prematura (Duffus, 1983) (Lippmann, 2009). De ahí, que la adopción de valores umbrales de calidad y de impacto para el caso particular de la concentración de PM₁₀, estará basada en la búsqueda de niveles de concentración a partir de los cuales existe un riesgo alto para la salud de la población expuesta.

Un hito relevante a destacar es la Directiva 96/62 sobre *evaluación y gestión del aire ambiente*, cuyos principales objetivos se centran en definir y establecer niveles de calidad del aire ambiente en la Unión Europea para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y para el medio ambiente en su conjunto, además de establecer las condiciones adecuadas para la medida y evaluación de la calidad del aire atmosférico. En su contenido, la directiva en cuestión señala, que será a propuesta de la comisión y a través de un desarrollo normativo posterior, cuando se establezcan los valores límite para cada uno de los contaminantes atmosféricos incorporados en su anexo I, donde están incluidas las partículas en suspensión, entre ellas las PM₁₀.

En el año 1999 la Directiva 30/99 sobre *valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente*, es la encargada de establecer niveles límite al caso particular de las PM₁₀, determinado como valor máximo de referencia 50µgr PM₁₀/m³ para el año 2010.

A nivel estatal no es hasta el año 2002, con motivo de la transposición de la Directiva 30/99, cuando se regula sobre valores límite de concentración de contaminantes atmosféricos³. En ese año tiene lugar la aprobación del Real Decreto 1073/2002 sobre *evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono*, donde los principales objetivos a considerar en relación con la investigación que nos ocupa, son los siguientes:

- Establecer definiciones específicas para aquellos términos que son usados a la hora de evaluar y gestionar la calidad ambiental del aire.
- Fijar métodos específicos de mediciones de la calidad del aire ambiente.
- Definir medidas aplicables a zonas que superan determinados valores de contaminación atmosférica.
- Determinar un régimen sancionador en materia de contaminación atmosférica.
- Establecer niveles umbrales sobre concentraciones máximas e intervalos de tolerancia para diferentes tipos de contaminantes, entre los que se encuentra las PM₁₀.

De esta forma, su anexo VII incluye dos valores umbrales, superior e inferior, en relación con la concentración diaria de PM₁₀, de 30 µgr/m³ y 20 µgr/m³ respectivamente.

A nivel de la Comunidad Autónoma de Andalucía, existe el reglamento de calidad del aire aprobado en 1996 a través del Decreto 74/1996, en el que no se llegan a establecer niveles máximos de concentración para contaminantes atmosféricos, aunque sí señala de forma específica la necesidad de monitorizar los niveles de PM₁₀ en el medio urbano andaluz. Desde el año 2009 se está trabajando en un nuevo reglamento de calidad del aire que fije valores límite de acuerdo al Real Decreto 1073/2002 previamente citado, pero éste aún no ha sido aprobado.

De acuerdo con lo anterior, se tomarán como valor umbral de impacto y calidad para esta investigación, los niveles máximos y mínimos contemplados en la legislación estatal relativa a calidad del aire. La tabla 4.4 muestra tales umbrales ambientales.

Tabla 4.4. Umbrales ambientales para la concentración de PM₁₀

Umbrales ambientales	Concentración diaria de PM ₁₀ (µgr/m ³)
Umbral crítico de impacto (UCI)	30
Umbral crítico de calidad (UCC)	20

Fuente: elaboración propia a partir del Real Decreto 1073/2002

4.3.1.3. Emisión de Ruido

De forma similar a la concentración de PM₁₀, el ruido tiene una incidencia directa sobre la salud de los usuarios del corredor, siendo importante destacar que el daño a la salud humana consecuencia del ruido es dependiente de la sensibilidad de cada individuo y/o del propio tipo

³ En la etapa preconstitucional existía el Reglamento 2414/1961 de *actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas*, donde se establecían límites de emisión de ciertos tipos de contaminantes como el Plomo, Arsénico y otros. Las PM₁₀ no eran contempladas en este reglamento.

de ruido. A este respecto, cabe indicar que algunos de los principales problemas asociados están vinculados a pérdidas de audición, aumento de la irritabilidad, fatiga e incluso posibles reacciones alérgicas (Gil-Carcedo, 2008).

A la vista de las normativas y estrategias desarrolladas en relación con el ruido ambiental, tanto las acciones comunitarias, como aquellas que provienen de los diferentes estados miembros, han sido menos prioritarias en este aspecto que en otras políticas y/o actuaciones, o al menos más tardías, que por ejemplo, las relativas a la contaminación atmosférica o al agua. No obstante, gracias a la legislación ambiental comunitaria, que ha supuesto la regulación de niveles máximos de emisión sonora, junto al avance tecnológico, se ha conseguido una disminución significativa de los niveles de ruido de procedencia individual. Situación que es significativa en el caso de la movilidad urbana, donde se aprecia una disminución relativa del 85% del ruido procedente de automóviles privados desde 1970 hasta nuestros días (EEA, 2009).

A nivel normativo destaca como hito relevante la Directiva 2002/49/CE sobre *evaluación y gestión del ruido ambiental*. La directiva tiene por objeto prevenir, reducir y vigilar la contaminación acústica, con el fin de evitar daños para la salud pública, los bienes y el medio ambiente. Entre sus finalidades se encuentra:

- Determinar la exposición al ruido ambiental, mediante la elaboración de mapas de ruido, según métodos de evaluación comunes a los estados miembros.
- Poner a disposición de la población la información sobre el ruido ambiental y sus efectos.
- Adoptar planes de acción para los estados miembros, tomando como base los resultados de los mapas de ruido ambiental siempre que sea necesario.

En el ámbito estatal, la Ley 37/2003 *del Ruido* se encarga de realizar la trasposición de la Directiva 2002/49. Hasta ese momento, en España, el ruido carecía de una norma general que permitiese su regulación. El objetivo y finalidad de esta ley es prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica, para evitar y reducir los daños que de ésta pueden derivarse para la salud humana, los bienes o el medio ambiente. Aunque la propia ley establece que será competencia de las comunidades autónomas fijar los tipos de áreas acústicas en función de los usos del suelo, dicha ley fija una tipología mínima y establece criterios para determinar su delimitación. Tales áreas acústicas de acuerdo a la Ley 37/2003 son:

- Sectores del territorio con predominio del suelo de uso residencial.
- Sectores del territorio con predominio del suelo de uso industrial.
- Sectores del territorio con predominio del suelo de uso recreativo y de espectáculos.
- Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en el párrafo anterior.
- Sectores del territorio con predominio del suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera de especial protección contra la contaminación acústica.

- Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, y otros equipamientos públicos que los reclamen.
- Espacios naturales que requieran una especial protección contra la contaminación acústica.

A nivel autonómico andaluz el Decreto 326/2003 por el que se aprueba el *Reglamento de protección contra la Contaminación Acústica*, se encarga de poner límites de emisión sonora en base a las diferentes áreas urbanas previamente comentadas. La tabla 4.5 muestra los diferentes niveles de ruido establecidos para cada área urbana.

Tabla 4.5. Niveles de ruido recogidos en el Decreto 326/2003

Tipo de área acústica	Niveles de ruido (dB(A))		
	Día	Tarde	Noche
Sectores del territorio con predominio del suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	60	60	50
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial	65	65	55
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	70	70	65
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en el caso anterior	73	73	63
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	75	75	65
Sectores del territorio afectados por sistemas generales de infraestructuras del transporte, u otros equipamientos públicos que reclamen áreas de silencio.	Sin determinar	Sin determinar	Sin determinar

Fuente: elaboración propia a partir del Decreto 326/2003 sobre contaminación acústica en Andalucía.

En vista de la revisión normativa consultada, así como, atendiendo de forma particular a las características del corredor, el cual transcurre mayoritariamente por suelo consolidado de uso residencial, con excepción de su tramo 2 donde predomina el suelo de tipo industrial, serán seleccionados como umbrales de impacto y calidad aquellos valores límite de ruido recogidos en el Decreto 326/2003 para los sectores del territorio con predominio de suelo con uso residencial. Para el caso particular del umbral crítico de calidad se considerarán los 55 dB(A) establecidos como valor límite para las horas de noche, así como, será tomado como umbral crítico de impacto 65 dB(A), que hace referencia al nivel máximo de ruido permitido en dichas áreas durante el resto del día.

Tabla 4.6. Umbrales ambientales para la emisión de ruido

Umbrales ambientales	Nivel de ruido (dB(A))
Umbral crítico de impacto (UCI)	65
Umbral crítico de calidad (UCC)	55

Fuente: elaboración propia a partir del Decreto 326/2002 de contaminación acústica de Andalucía

4.3.2 Indicadores sin regulación normativa

En el apartado metodológico se han establecido tres fases como procedimiento para la estimación de umbrales ambientales para aquellos indicadores no regulados a nivel normativo. Estas fases son (ver apartado 4.2.2.2): (i) Reparto del espacio viario en base a la superficie no motorizada; (ii) Propuesta de ordenación modal de las secciones resultantes; (iii) Estimación de umbrales ambientales.

Los indicadores cuyos resultados no están regulados a nivel normativo son: el coeficiente viario de reparto, la eficiencia superficial de la movilidad urbana y el efecto barrera. A continuación, se desarrollará paso a paso el procedimiento propuesto, que se basa esencialmente en el planteamiento de dos tramos tipo tanto de calidad como de impacto (ver figura 4.4).

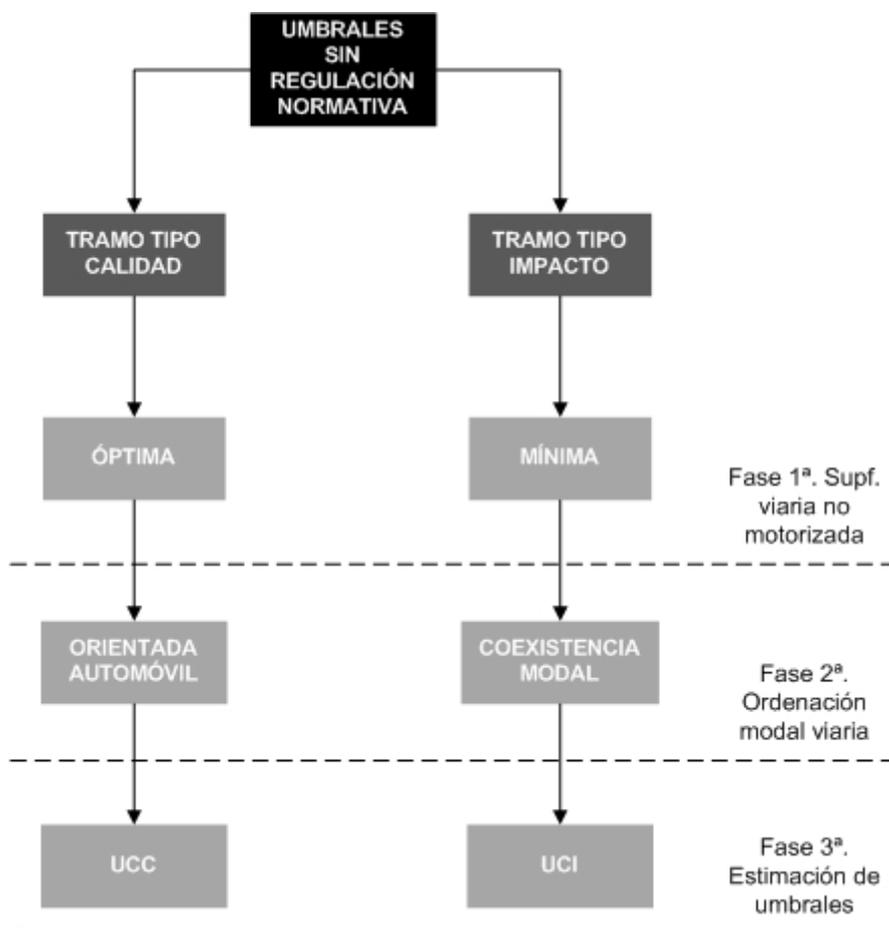


Figura 4.4. Esquema metodológico para la estimación de umbrales no regulados a nivel normativo. Fuente: elaboración propia

4.3.2.1. Reparto viario en base a la superficie no motorizada

El primer paso del proceso implica la estimación de una superficie mínima y otra óptima destinada a funciones no motorizadas (superficie verde, peatonal y bicicleta), útiles para establecer un primer reparto de la sección viaria de los tramos tipo en cuestión. Para obtener la anchura y longitud del tramo tipo, se usa el valor promedio de los 25 tramos existentes en el corredor, lo que da como resultado una anchura de 35m y una longitud de 606.3m.

Partiendo de los principios de movilidad urbana sostenibles recogidos en el capítulo 1, el fomento de la calle como espacio de relación social frente a su uso como elemento de circulación motorizada, es uno de los objetivos fundamentales para promover patrones de movilidad menos agresivos a nivel ambiental (Marshall, 2001)(Banister, 2008), además de tener una importancia destacada en el caso de estudio de esta investigación, ya que cumplir con objetivos como el previamente expuesto, potenciaría una mayor interacción entre peatones y modos de transporte público como el sistema de metro ligero.

Para hacer operativa la estimación de tales superficies mínimas y óptimas no motorizadas, en la propuesta del tramo tipo estas superficies estarán conceptualizadas a modo de aceras, siendo conscientes de que un adecuado dimensionamiento de éstas en cuanto a las funciones que en ellas se desarrollan, puede fomentar un mayor uso peatonal por parte de los ciudadanos aunque no lo garantiza, ya que existen otros factores con gran relevancia en el fomento de un uso viario por parte del peatón o de modos no motorizados, por ejemplo, el nivel de centralidad y conexión de la vía, el tipo de usos y actividades de su entorno, etc. (Pozueta *et al.*, 2009)

Por lo tanto, de cara a determinar valores mínimos y óptimos de superficie viaria no motorizada en los tramos tipo, parece importante tener en cuenta las funciones más destacadas de este espacio viario (Manchón y Santamera, 1995) (Jacobs *et al.*, 1997) (Pozueta *et al.*, 2000; 2009) (Herce *et al.*, 2007):

- Promover este espacio como un lugar no solo de tránsito y circulación, sino como un lugar multifuncional para el peatón (zonas de reposo, ocio, circulación, etc.).
- Promocionar entornos de relación social para usuarios.
- Fomentar la circulación no peatonal a través de modos no motorizados como la bicicleta.
- Albergar actividades de tipo comercial.
- Mantenimiento de zonas ajardinadas.
- Facilitar el acceso de peatones a los distintos modos de transporte.

En base a lo anterior, el valor mínimo y óptimo para dicha superficie viario no motorizada se obtendrá de la siguiente forma:

- *Superficie mínima:* se estimará el espacio mínimo necesario para el desarrollo de aquellos objetivos que deberían ser alcanzados por el corredor desde el punto de vista de una movilidad urbana sostenible.

- *Superficie óptima*: se estimará el espacio idóneo de superficie viaria destinada a modos no motorizados para el cumplimiento de los objetivos de este espacio desde el punto de vista de una movilidad urbana sostenible

Comenzando por el caso particular de la **superficie mínima no motorizada**, su dimensionamiento debe dar respuesta a diferentes áreas funcionales, que necesariamente deben ser tenidas en cuenta a la hora de estimar dicha superficie mínima de este espacio viario (Manchón y Santamera, 1995) (Pozueta, 2001) (Sanz *et al*, 1999) (Sanz, 2008):

- *Espacio de estacionamiento*, encaminado principalmente a favorecer las relaciones humanas en la vía, cuya dimensión será variable en función del tipo de actividad que se quiera impulsar (equipamientos para niños, bancos de reposos, equipamiento deportivo, hostelería, etc.).
- *Espacios de servidumbre*, marcados por las zonas de contacto entre las aceras con la calzada o edificación.
- *Espacios de circulación*, que vienen a representar aquellos lugares destinados estrictamente al tránsito peatonal. Algunos valores recomendados a la hora de considerar el dimensionamiento de tales espacios de circulación son mostrados en la figura 4.5.
- *Espacios para la bicicleta*, que vienen a mostrar aquellos lugares destinados estrictamente al tránsito ciclista, por lo que se recomienda el diseño de una plataforma específica y diferenciada del resto de espacios funcionales identificados.

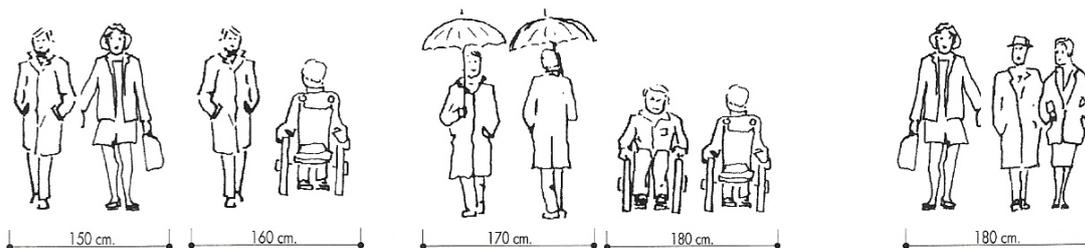


Figura 4.5. Ejemplos de dimensiones mínimas para la circulación peatonal. Fuente: Sanz, 2008

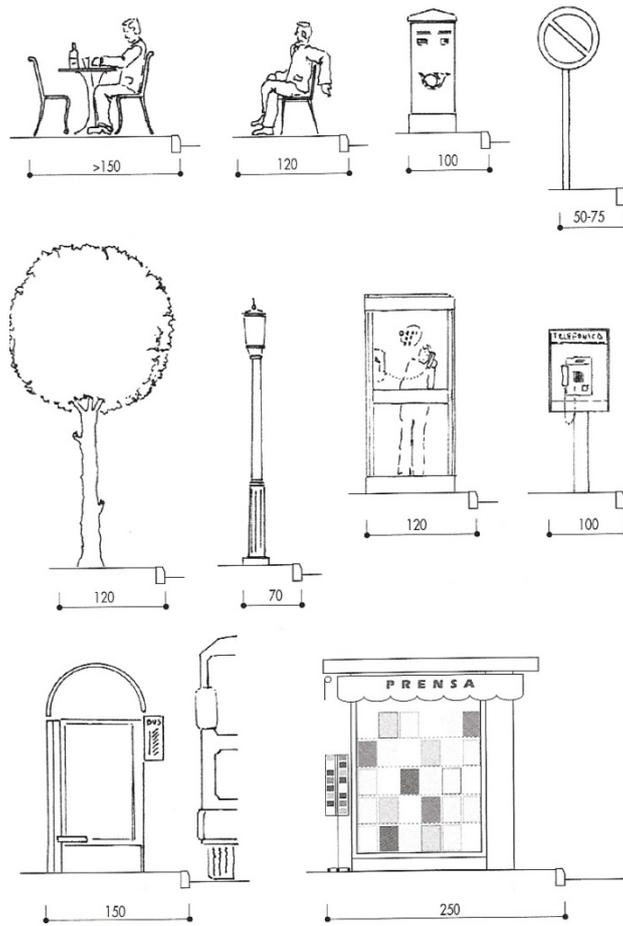


Figura 4.6. Ejemplos de dimensiones mínimas de las diferentes áreas funcionales de la superficie viaria no motorizada. Fuente: Sanz, 2008

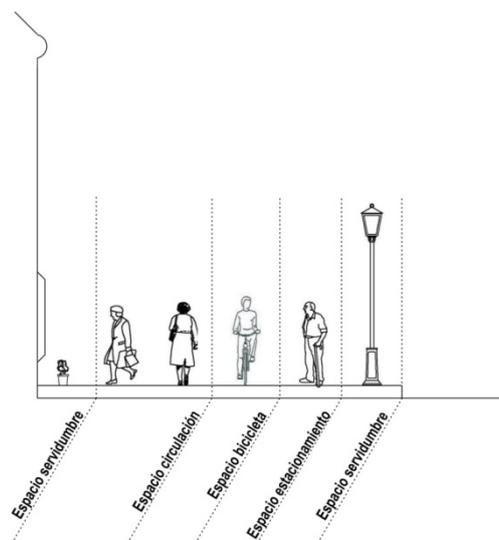


Figura 4.7. Representación esquemática de espacios funcionales en la superficie viaria no motorizada. Fuente: elaboración propia

Con el fin de estimar la superficie mínima no motorizada, la tabla 4.7 recoge a modo de orientación, diferentes medidas orientativas.

Tabla 4.7. Anchuras mínimas de cada área funcional para la superficie viaria no motorizada

Anchura mínima espacio viario no motorizada	Manchón y Santamera, 1995	Portland Government, 1998	Pozueta, 2001	Sanz, 2008
Servidumbre edificación (m)	0,5 – 1	0,75	0,6 – 0,9	0,5 -1
Servidumbre calzada (m)	0,5 – 1	1,2	0,6 - 0,9	0,5 -1
Estacionamiento (m)	0,75 - 3	-	-	0,75 – 3
Circulación bicicleta (m)	0,6 - 3	1,2	1	1 - 3,05
Circulación peatonal (m)	0,60 -2,40	2,5	Mínimo 1,5	0,65 -3,5

Fuente: elaboración propia a partir de las referencias bibliográficas citadas en el contenido de la tabla

Basado en las dimensiones aportadas por las referencias bibliográficas previamente consultadas, la tabla 4.8 recoge las dimensiones adoptadas en esta investigación para el caso específico de la superficie mínima no motorizada.

Tabla 4.8. Anchuras mínimas otorgadas en la investigación

Áreas funcionales Superficie viaria no motorizada	Anchura (m)
Servidumbre edificación	0,85
Servidumbre calzada	0,85
Estacionamiento	1,25
Circulación bicicleta	1
Circulación peatonal	1,80
Total	5,75

Fuente: elaboración propia

Según se aprecia en la tabla 4.8, se ha otorgado la anchura de 0,85 m a las áreas de servidumbre, tanto aquella que tiene que ver con la edificación, como la relacionada con la calzada. Un valor intermedio entre los intervalos propuestos por las referencias bibliográficas consultadas, aunque próximo 1 m en respuesta a que la mayor parte de éstas (Manchón y Santamera, 1995) (Sanz, 2008), apuntan a la necesidad de incrementar el coeficiente de seguridad entre peatón y calzada, así como la importancia de tener una servidumbre con la edificación próxima a 1m en aquellos lugares donde predominen escaparates comerciales. Por otro lado, la anchura mínima de estacionamiento otorgada ha sido de 1,25m, equivalente al espacio ocupado por un banco de reposo y un árbol. Finalmente, en lo que respecta a las áreas funcionales de tránsito, tanto peatonal como en bicicleta, se les ha otorgado una anchura de 1,80 y 1 m respectivamente. En el caso del tránsito peatonal esta anchura sería suficiente para permitir el cruce de hasta tres personas o bien dos personas con paraguas (ver figura 4.5). En el caso del la bicicleta se la ha otorgado una anchura mínima de 1m, equivalente al espacio ocupado por una bicicleta en desplazamiento (Sanz *et al.*, 1999) (Sanz, 2008).

Considerando la anchura mínima de acera propuesta, junto con las dimensiones del tramo tipo, que implican una anchura total de 35m y una longitud de 606,3m, la superficie viaria no motorizada mínima estimada es de 6972,45m², correspondiente a dos aceras a ambos lados de la vía.

Una vez estimada la superficie viaria mínima para el uso no motorizado, el último paso de esta fase se centra en estimar la **superficie viaria óptima**. Para ello, se utilizarán como referencia 13 secciones viarias recomendadas en los trabajos de Manchón y Santamera (1995), Portland Government (1998) y Pozueta (2001), para el caso particular de avenidas y vías colectoras principales, similares en su dimensionamiento a las que ocupan a esta investigación, a la vez que diseñadas en base a una serie de criterios que las hacen representativas al efecto de estimar dicha superficie viaria óptima, como son:

- Posibles funciones de la vía en el contexto urbano (avenida principal, arteria colectora, vías con tráfico intenso, etc.)
- Coexistencia entre los diferentes modos de transporte (tipo de medianas, plataformas reservadas para transporte público, etc.)
- Modo de contacto entre el espacio peatonal y la calzada (tipos de servidumbre, acceso al transporte público, posición de la calzada respecto al espacio peatonal, etc.)
- Uso de valores óptimos de dimensionamiento en relación con el espacio peatonal, verde y para la bicicleta como los previamente descritos

De esta forma, la tabla 4.9 muestra en m² el reparto modal de las 13 secciones viarias seleccionadas, tomando como longitud los 606,3 m del tramo tipo.

Tabla 4.9. Secciones viarias de referencia

<i>Secciones tipo con reparto modal óptimo</i>	<i>Vía (m²)</i>	<i>Peatonal-Bici (m²)</i>	<i>Calzada</i>			
			<i>Carril Bus (m²)</i>	<i>Coches (m²)</i>	<i>ML (m²)</i>	<i>Aparcamiento (m²)</i>
Sección 1	20007,90	6063	3637,8	10307,1	0	0
Sección 2	18189,00	6063	3637,8	8488,2	0	0
Sección 3	25464,60	16370,1	0	9094,5	0	0
Sección 4	26677,20	8488,2	0	16673,25	0	1515,75
Sección 5	27101,61	8488,2	0	8609,46	7275,6	2728,35
Sección 6	26980,35	8488,2	3637,8	14854,35	0	0
Sección 7	34043,75	18189	3637,8	10701,195	0	1515,75
Sección 8	37590,60	18189	1818,9	17582,7	0	0
Sección 9	40925,25	16370,1	0	14551,2	6063	3940,95
Sección 10	17582,70	13338,6	0	4244,1	0	0
Sección 11	23948,85	14854,35	0	4244,1	0	4850,4
Sección 12	15400,02	9094,5	0	3637,8	0	2667,72
Sección 13	17218,92	6063	0	8488,2	0	2667,72

Fuente: elaboración propia a partir de Manchón y Santamera (1995, pp. 35 - 46), PG (1998, pp. 1-14), Pozueta (2001, pp. 24 - 28)

A la vista de los datos expuestos en la tabla 4.9, la ocupación media de la superficie no motorizada es del 47,5 % respecto del total de la sección. Considerando el tramo tipo del caso de estudio, esto supondría una superficie viaria no motorizada óptima de 11140,76m², equivalente a dos aceras a ambos lados de la vía con una anchura de 9,10 m.

La figura 4.8 muestra a nivel esquemático para el tramo tipo del corredor, la organización viaria resultante a nivel de sección, consecuencia del valor óptimo y mínimo de superficie viaria no motorizada estimado.

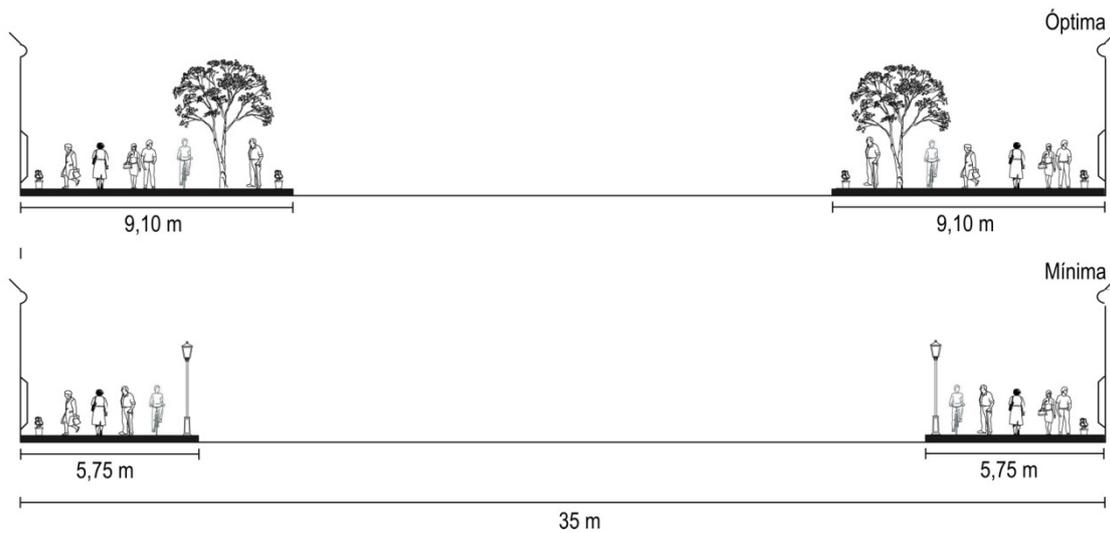


Figura 4.8. Secciones óptima y mínima de la superficie viaria no motorizada. Fuente: elaboración propia

4.3.2.2. Propuestas de ordenación modal para el umbral de calidad e impacto

Esta fase implica realizar la propuesta de ordenación modal de los tramos tipo, con el fin de estimar los umbrales de calidad e impacto de aquellos indicadores no regulados a nivel normativo. La ordenación modal en cuestión estará basada en (ver tabla 4.2, apartado 4.2.2.2):

- Mantener la superficie no motorizada mínima en el caso del umbral de impacto y la óptima en el umbral de calidad.
- Seleccionar los modos de transporte que componen el corredor para cada sección tramo tipo (de calidad y de impacto), en base a su eficiencia ambiental.

De este modo, la ordenación modal propuesta para el caso particular del **umbral crítico de calidad** incluye un carril para el vehículo privado, dos carriles para el metro ligero de acuerdo a las características del caso de estudio y un carril para autobuses públicos, conjuntamente con una superficie no motorizada equivalente a la superficie óptima estimada en el apartado anterior.

Respecto de la ordenación modal propuesta para estimar el **umbral crítico de impacto**, ésta incluye cuatro carriles para el vehículo privado junto a la superficie mínima no motorizada estimada previamente. El resto de espacio resultante se reserva para aparcamientos de rotación. La figura 4.9 recoge el dibujo de las dos secciones propuestas en cada caso

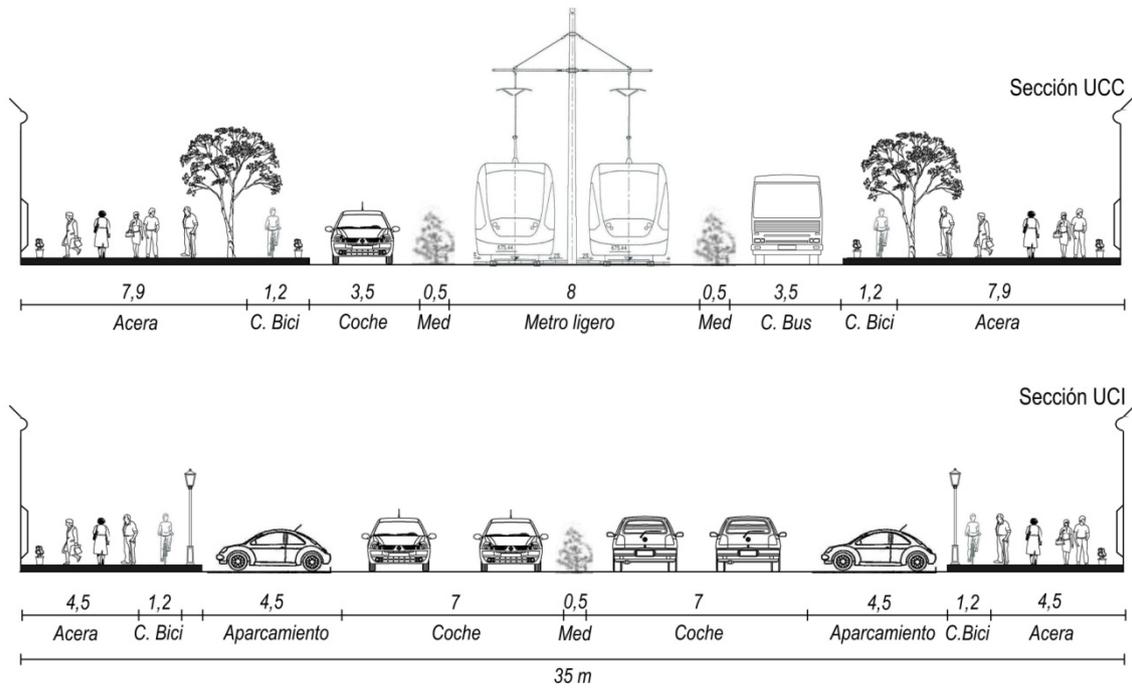


Figura 4.9. Ordenación modal de las secciones propuestas para el cálculo del UCC y el UCI.

Fuente: elaboración propia

Para completar la propuesta de los tramos tipos de calidad e impacto, es preciso dotar de valores a aquellos factores que componen el escenario de movilidad que representa cada tramo. La tabla 4.10 sintetiza cada una de estas variables, así como, su fuente o método de estimación.

Tabla 4.10. Variables y método de estimación

Tipo	Variable	Método
Frecuencia modal	Frecuencia automóvil	Frecuencia media de tránsito de la alternativa S_0
	Frecuencia autobús	Frecuencia media de tránsito de la alternativa S_0
	Frecuencia metro ligero	Frecuencia media de tránsito de la alternativa S_1
Ocupación modal viajeros	Ocupación automóvil	Ocupación recomendada por la Estrategia española de Movilidad Sostenible (MF, 2007)
	Ocupación autobús	Ocupación media basada en el estudio de rentabilidad económica del proyecto de metro ligero de Granada
	Ocupación metro ligero	Ocupación media basada en el estudio de rentabilidad económica del proyecto de metro ligero de Granada
Dimensionamiento vía	Anchura calzada	En base a la superficie no motorizada mínima y óptima
	Anchura acera	En base a la superficie no motorizada mínima y óptima

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la tabla 4.10, conviene aclarar que para determinar la tasa de ocupación de viajeros en modos públicos (autobús y metro ligero), se ha tomado como referencia el anejo relativo al estudio de rentabilidad económica del proyecto de metro ligero de Granada (COPT, 2005), concretamente su apartado relativo a costes de explotación y mantenimiento del sistema de transporte público, donde se establece un nivel de uso mínimo de dicha red de transporte que haría viable desde el punto de vista económico el proyecto en cuestión. La tabla 4.11 muestra los valores relativos a tales niveles mínimos de ocupación.

Tabla 4.11. Nº viajeros recogidos en el estudio de rentabilidad económica del proyecto de metro ligero de Granada

Transporte público	Viajeros/día
Autobús línea 1	5226
Autobús línea 3	8171
Autobús línea 4	9689
Autobús línea 5	5696
Autobús línea 6	3623
Autobús línea 7	5990
Autobús línea 8	9375
Autobús línea 9	7109
Autobús línea 10	5448
Autobús línea 11	11580
Autobús línea C	678
Autobús línea F	225
Autobús línea U	2294
Autobús línea 20	3528
Autobús línea 30	756
Autobús línea 31	1464
Autobús línea 32	1286
Autobús línea 33	6124
Metro ligero	8206,15

Fuente: COPT, 2005

En cuanto al automóvil privado, se considera una ocupación mínima de 3 viajeros de acuerdo a las recomendaciones expuestas en la Estrategia Española de Movilidad Sostenible (MF, 2007) y en el Plan de Acción de Ahorro Energético Español (IDAE, 2007).

Finalmente, la tabla 4.12 sintetiza el valor otorgado a cada factor como paso previo al cálculo de umbrales ambientales.

Tabla 4.12. Valor de cada factor para el cálculo de umbrales

Tipo	Variable	Valor
Frecuencia modal	Frecuencia automóvil	1464 veh/día
	Frecuencia autobús	256 veh/día
	Frecuencia metro ligero	240 veh/día
Ocupación viajeros	Ocupación automóvil	3 viajeros/veh
	Ocupación autobús	4903 viaj/día
	Ocupación metro ligero	8206 viaj/día
Dimensionamiento	Anchura calzada	16,8 m (UCC) y 23,5 (UCI)
	Anchura acera (por lado)	9.1 m (UCC) y 5,75 m (UCI)

Fuente: elaboración propia

4.3.2.3. Estimación final de umbrales ambientales

En vista de los dos tramos tipo propuestos para el caso específico de los umbrales ambientales de calidad y de impacto, la tabla 4.13 recoge la estimación de cada uno de ellos para los tres indicadores que no tienen regulación a nivel normativo.

Tabla 4.13. Umbrales ambientales para indicadores no regulados a nivel normativo

Umbrales ambientales	Eficiencia superficial (m ² /viaj)	Coefficiente viario reparto (m ² peat/m ² calz)	Efecto barrera (EB/m)
Umbral crítico de impacto (UCI)	0,80	3,04	1,38
Umbral crítico de calidad (UCC)	0,58	1,92	0,30

Fuente: elaboración propia

4.4 Umbrales ambientales y comparación de alternativas

Este apartado analiza los resultados de aplicar los umbrales ambientales estimados a cada uno de los indicadores que conforman el sistema de evaluación, profundizando en la comparación de alternativas.

4.4.1 Indicadores relativos al uso de energía y otros recursos

4.4.1.1. Eficiencia energética de la movilidad urbana

La **eficiencia energética de la movilidad urbana (EE)** se expresa en MJ/viajero-Km. Cuanto mayor sean los MJ/viaj-Km utilizados, menor será el rendimiento ambiental de la movilidad del corredor.

Existe una disminución en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 de los MJ/viaj-Km del 31%, que se traduce a nivel medio para el total de tramos del corredor, en un consumo de 0,83 MJ/viaj-Km en la alternativa S.0 y de 0,58 MJ/viaj-Km en la alternativa S.1. Este apartado analiza la medida en qué tales variaciones de la eficiencia energética suponen cambios en los niveles de rendimiento ambiental del corredor. Para ello, se utilizarán los umbrales de calidad e impacto adoptados, que son de 0,57 MJ/viaj-Km en el caso del umbral crítico de calidad (UCC) y de 1,37 MJ/viaj-Km en el caso del umbral crítico de impacto (UCI). La tabla 4.14 recoge para cada una de las alternativas evaluadas, el número de tramos por nivel de rendimiento, así como, los cambios existentes.

Tabla 4.14. Tabla de contingencia entre las alternativas S.0 y S.1 para la eficiencia energética de la movilidad urbana

		Alternativa S.1			Nº Tramos S.0 (total)
		Óptimo	Aceptable	Negativo	
Alternativa S.0	Óptimo	4	0	0	4
	Aceptable	8	11	0	19
	Negativo	0	2	0	2
Nº Tramos S.1 (total)		12	13	0	

Fuente: elaboración propia

Mientras la alternativa S.0 cuenta con un *rendimiento óptimo* en 4 de sus tramos, 19 tramos con un *rendimiento aceptable* y 2 tramos con *rendimiento negativo*, la alternativa S.1 presenta hasta 12 tramos con *rendimiento óptimo*, 13 tramos con *rendimiento aceptable* y ningún tramo con *rendimiento negativo*. Las figuras 4.15 y 4.16 detallan la distribución de tramos por niveles de rendimiento ambiental.

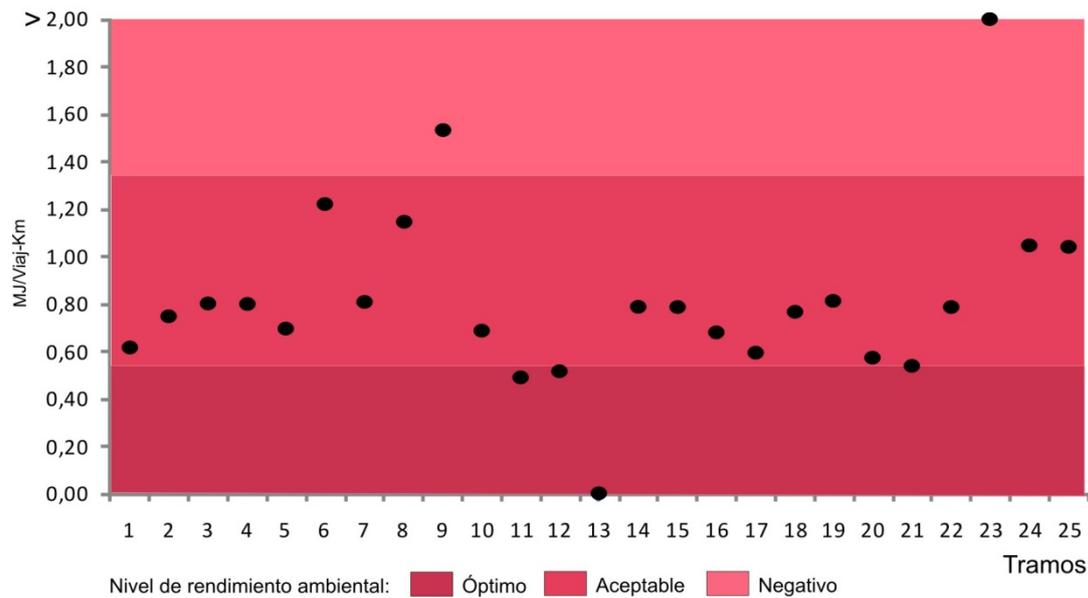


Figura 4.10. Alternativa S.0. Tramos y niveles de rendimiento para la eficiencia energética.
Fuente: elaboración propia

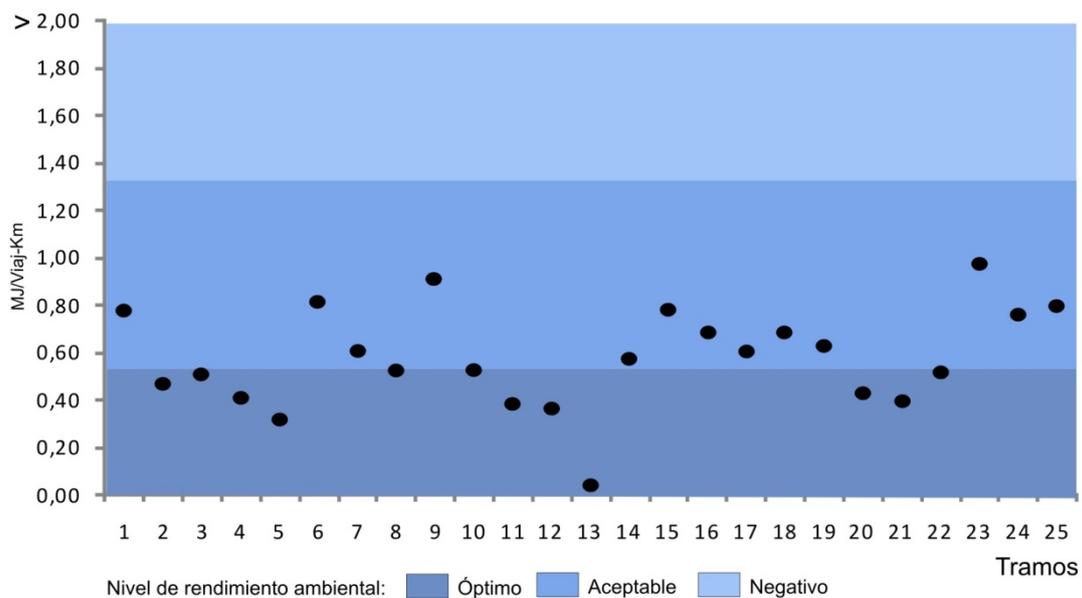


Figura 4.11. Alternativa S.1. Tramos y niveles de rendimiento para la eficiencia energética.
Fuente: elaboración propia

Abundando en los resultados obtenidos, de los 12 tramos que en la alternativa S.1 poseen un *rendimiento óptimo*, 4 de ellos ya tienen este mismo nivel de rendimiento en la alternativa S.0 (tramos 11, 12, 13 y 21), mientras que los 8 tramos restantes tienen un *rendimiento aceptable*. Por otro lado, de los 13 tramos que en la alternativa S.1 tienen un *rendimiento aceptable*, 11 de ellos tienen este nivel en la alternativa S.0 y los dos restantes tienen un rendimiento negativo (tramos 9 y 23).



Figura 4.12. Niveles de rendimiento ambiental de la eficiencia energética. Alternativas S.0 y S.1. Fuente: elaboración propia

El capítulo 4 ponía de manifiesto dos aspectos importantes en relación con las variaciones de la eficiencia energética:

- Aquellos tramos cuyos niveles de coexistencia modal viaria permanecían prácticamente inalterados en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, mantenían constantes o incluso incrementaban sus MJ/viaj-Km (tramos 15, 16 y 17).
- Más allá de la propia ordenación modal viaria de cada alternativa, la eficiencia energética era claramente dependiente de los cambios en los viajeros-km transportados en cada caso.

En relación con el primero de los aspectos apuntados, la aplicación de los umbrales ambientales pone de manifiesto que los tramos 15, 16 y 17 mantienen en la alternativa S.1 los niveles de rendimiento existentes en la alternativa S.0, relativos a un *nivel aceptable*. Situación a destacar en el caso del tramo 17, que en la alternativa S.0 presenta un *rendimiento aceptable*, pero dentro del *intervalo de transición* del UCC, lo que deja ver que la alternativa S.1 no aprovecha esta situación para hacer incrementar el nivel de rendimiento ambiental de este tramo hasta un *nivel óptimo* (ver figura 4.13).

Respecto de la relación entre viajeros-Km transportados y eficiencia energética de la movilidad urbana, cabe destacar que aquellos tramos que incrementan sus viajeros transportados en un 30%, en todos los casos alcanzan en la alternativa S.1 un nivel de rendimiento ambiental superior que en la alternativa S.0. Este es el caso del tramo 8 (que pasa de un *nivel aceptable* en la alternativa S.0 a *óptimo* en la alternativa S.1), junto con los tramos 9 y 23 (que pasan de un *nivel negativo* en la alternativa S.1 a *aceptable* en la alternativa S.0). Por el contrario, cuando el incremento de los viajeros-Km previstos entre las alternativas evaluadas no supera el 30%, no todos los tramos experimentan mejorías en su rendimiento ambiental. Esta situación queda bien ejemplificada en el caso particular del tramo 6 entre las paradas Cerrillo Maracena y Carretera Jaén, ya que en ambas alternativas se mantiene un *nivel de rendimiento aceptable*, a pesar de un incremento previsto de los viajeros-Km transportados para la alternativa S.1 del 25%.

En cuanto a los tramos cuyos valores forman parte de los *intervalos de transición* de los umbrales definidos, equivalente al $\pm 5\%$ del umbral, señalar que ninguno de los tramos de las dos alternativas evaluadas se encuentra en el *intervalo de transición* del UCI. Por otro lado, 2 tramos de la alternativa S.0 se encuentran en el *intervalo de transición* del UCC (tramos 17 y 20), conjuntamente con 3 tramos de la alternativa S.1 (tramos 10, 14 y 22). La figura 4.13 detalla los valores de eficiencia energética de aquellos tramos que ocupan tales *intervalos de transición*.

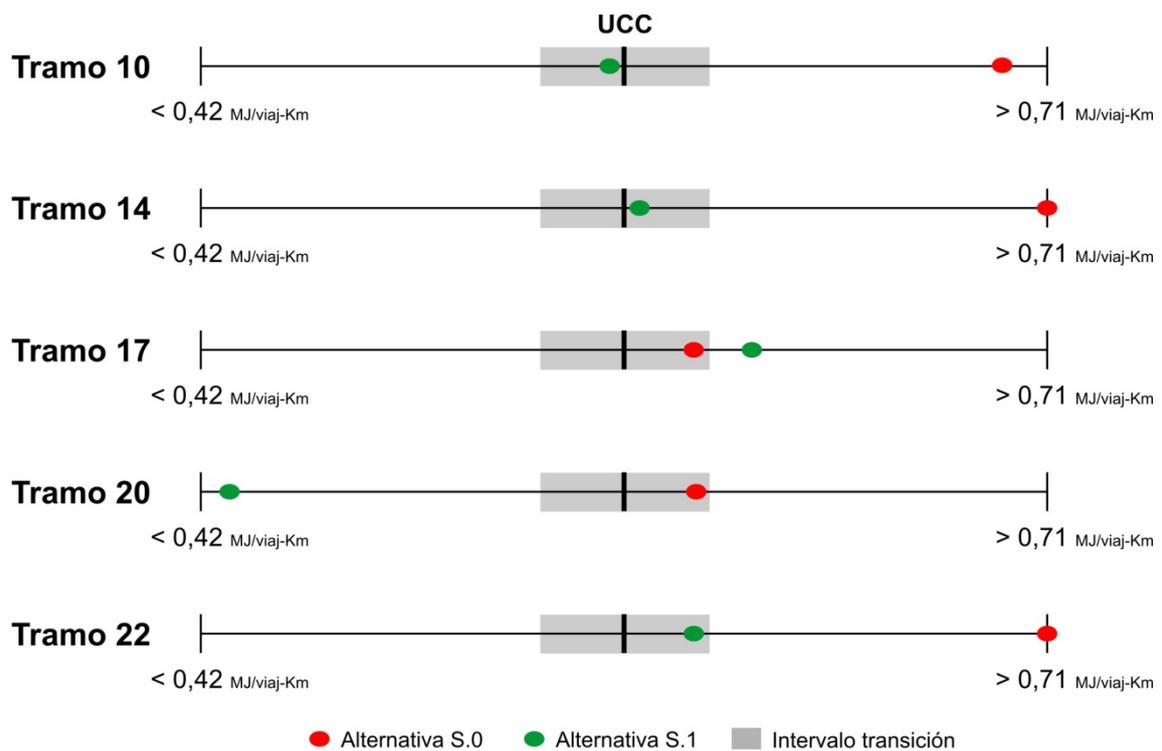


Figura 4.13. Tramos cuya eficiencia energética forman parte del *intervalo de transición* del UCC. Fuente: elaboración propia

El análisis comparado de alternativas, deja ver una mejora de los niveles de rendimiento ambiental derivados de la eficiencia energética en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0. Esta mejora se hace patente en el incremento de tramos con *rendimiento óptimo* (pasando de 4 tramos en la alternativa S.0 a 12 tramos en la alternativa S.1), conjuntamente a una reducción del número de tramos con *rendimiento negativo* (pasando de 2 tramos en la alternativa S.0 a ningún tramo en la alternativa S.1). Otro rasgo importante a destacar deriva de la relación entre la eficiencia energética de la movilidad urbana y los viajeros-km transportados, de manera que todos aquellos tramos que poseen un incremento de sus viajeros-km por encima del 30%, siempre alcanzan un nivel de rendimiento más elevado en la alternativa S.1 que el que tienen en la alternativa S.0. Un buen ejemplo de esta situación son los tramos 8, 9 y 23.

4.4.1.2. Eficiencia superficial de la movilidad urbana

La **eficiencia superficial de la movilidad urbana (ES)** se expresa en $m^2/viajero-Km$. Su aumento es significativo de una disminución del rendimiento ambiental del corredor.

Este apartado procede a la comparación de los $m^2/viajero-Km$ con los umbrales ambientales definidos, de manera que se pueda profundizar y extraer nuevas lecturas sobre la comparación de alternativas. El umbral crítico de calidad (UCC) es de $0,58 m^2/viaj-Km$, mientras que el umbral crítico de impacto (UCI) es de $0,80 m^2/viaj-Km$. La tabla 4.15 presenta para cada alternativa, el número de tramos por niveles de rendimiento, así como, los cambios existentes.

Tabla 4.15. Tabla de contingencia entre las alternativas S.0 y S.1 para la eficiencia superficial de la movilidad urbana

	Niveles de rendimiento (Nº tramos)	Alternativa S.1			Nº Tramos S.0 (total)
		Óptimo	Aceptable	Negativo	
Alternativa S.0	Óptimo	8	0	0	8
	Aceptable	2	0	0	2
	Negativo	5	2	8	15
Nº Tramos S.1 (total)		15	2	8	

Fuente: elaboración propia

La alternativa S.0 presenta 8 tramos con un *rendimiento óptimo*, localizados en el sector central del corredor desde el tramo 10 hasta el 18 entre las paradas Perete y Salvador Allende. Con un *rendimiento aceptable* se encuentran 2 de sus tramos (tramos 7 y 21), mientras que los 15 tramos restantes cuentan con un *rendimiento negativo*. La alternativa S.1 muestra una mejoría evidente respecto de la alternativa S.0, donde 15 de sus tramos alcanzan un *rendimiento óptimo*, 2 tramos un *rendimiento aceptable* y los 8 tramos restantes presentan un *rendimiento negativo*.

De los 15 tramos con *rendimiento óptimo* en la alternativa S.1, 8 de ellos ya tienen este nivel en la alternativa S.0 (tramos del 10 al 18). Respecto de los 7 tramos restantes, 2 de ellos poseen un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.0 (tramos 7 y 21), mientras que los otros 5 tramos cuentan con un *rendimiento negativo* (tramos 8, 9, 12, 19 y 25). Por otro lado, los dos tramos que tienen un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.1 (tramos 20 y 22), tienen un *rendimiento ambiental negativo* en la alternativa S.0, al mismo tiempo que los 8 tramos con *rendimiento negativo* en la alternativa S.1 (tramos del 1 al 6, 23 y 24) ya tienen este mismo nivel en la alternativa S.0.

Las figuras 4.14 y 4.15 detallan la distribución de tramos por niveles de rendimiento en el caso de la eficiencia superficial de la movilidad urbana.

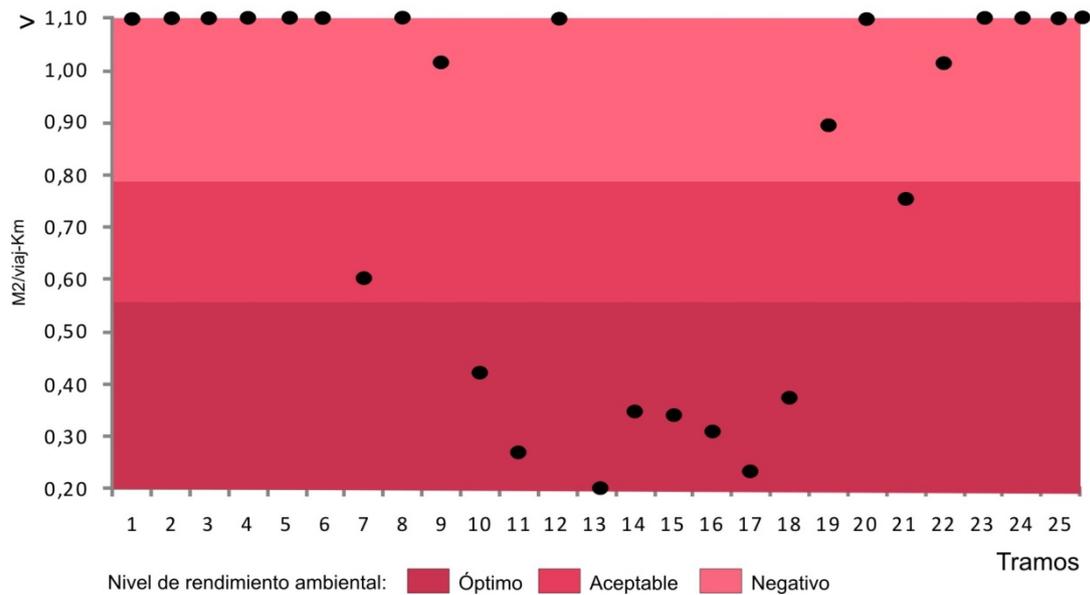


Figura 4.14. Alternativa S.0. Tramos y niveles de rendimiento para la eficiencia superficial.
Fuente: elaboración propia

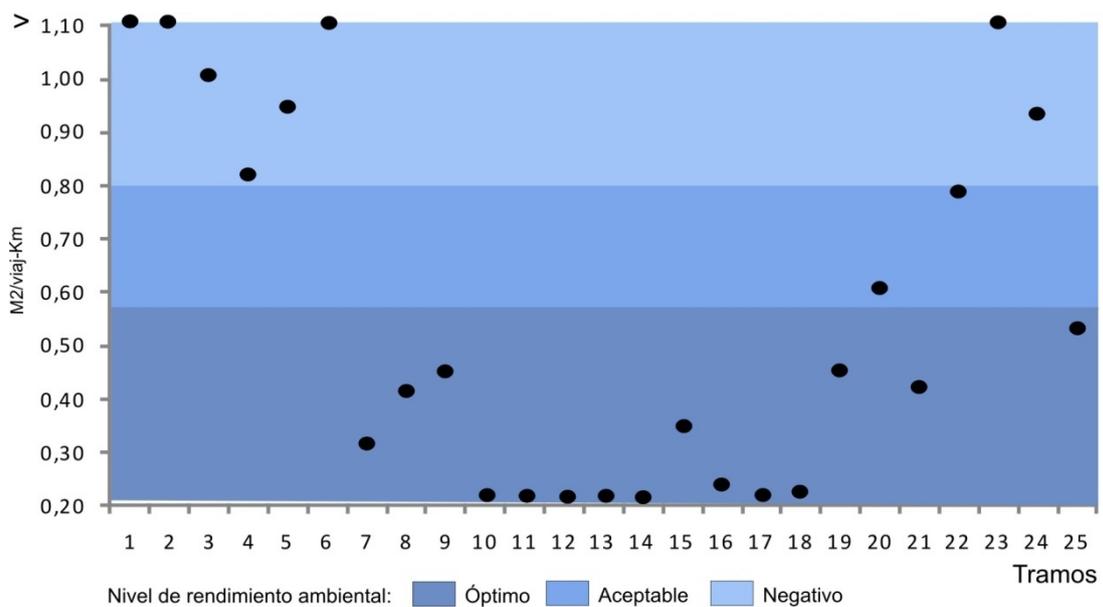


Figura 4.15. Alternativa S.1. Tramos y niveles de rendimiento para la eficiencia superficial.
Fuente: elaboración propia

En conexión con el análisis realizado en el capítulo 4, aquellos tramos con un mayor incremento de su coexistencia modal viaria en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, coinciden con importantes reducciones de los $m^2/viaj-Km$, que se traducen en todos los casos en mejoras de su nivel de rendimiento ambiental. Un ejemplo destacado de esta situación es el tramo 20 entre las paradas Palacio Deportes y Los Cármenes, que mejora su rendimiento ambiental desde un *nivel negativo* en la alternativa S.0 a *aceptable* en la alternativa S.1, aunque dentro del *intervalo de transición* del UCI.

Respecto de la relación entre viaj-Km y eficiencia superficial de la movilidad urbana, se puede ver que aquellos tramos donde el incremento de los viajeros-Km en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 supera el 30%, en todos los casos se produce un incremento del nivel de rendimiento ambiental (tramos 8, 9 y 25), con la excepción del tramo 4 entre las paradas de Anfiteatro y Blas de Otero. A modo de ejemplo, la figura 4.16 representa el diseño de las dos secciones viarias propuestas en la alternativa S.0 y S.1 respectivamente, para el caso específico del tramo 9 del corredor localizado entre las paradas Argentinita y Perete. Este tramo posee una disminución de los $m^2/viaj-Km$, pasando de $1,02 m^2/viaj-Km$ en la alternativa S.0 a $0,45 m^2/viaj-Km$ en la alternativa S.1. Dicha disminución supone pasar de un *rendimiento negativo* a *óptimo* de acuerdo a los umbrales ambientales definidos. Tal y como se aprecia en la figura 4.17, el incremento en un 21% de superficie destinada al tránsito motorizado en este tramo, es compensada con un incremento relativo del 45% de viaj-Km transportados en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0., lo que puede inducir el aumento del nivel de rendimiento ambiental descrito.

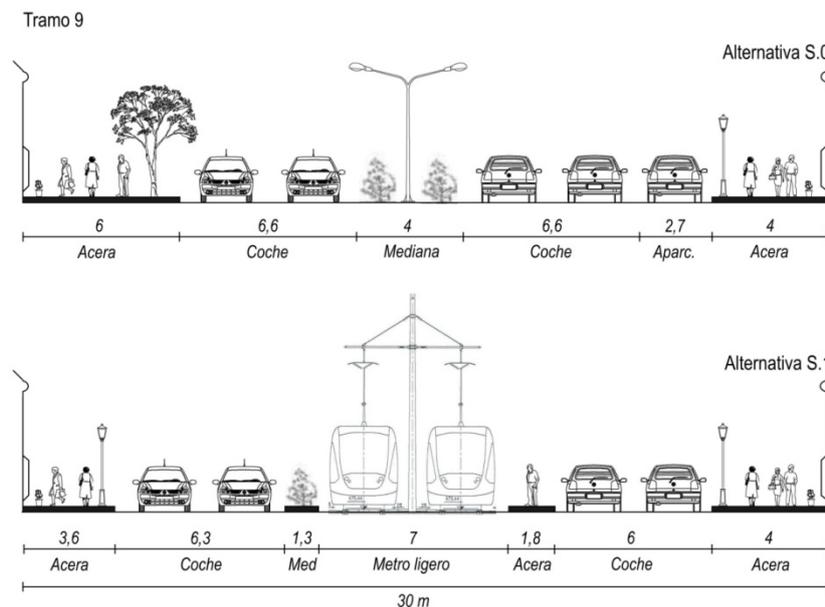


Figura 4.16. Ordenación modal viaria de las alternativas S.0 y S.1 en el tramo 9 del corredor.

Fuente: elaboración propia

La comparación de alternativas realizada permite distinguir un gradiente de mejora del nivel de rendimiento en aquellos tramos que discurren por la ciudad de Granada (tramos del 7 al 21) respecto de aquellos que discurren por el resto de municipios y que conforman los extremos del corredor (tramos del 1 al 6 y del 22 al 25) (ver figura 4.18), especialmente como consecuencia de las mayores flujos de movilidad hacia posiciones interiores del corredor. Un ejemplo de esta situación es el tramo 2 entre las paradas de Juncaril y Vicuña (ver figura 4.17), donde a pesar de estar previsto un aumento de los viaj-Km en la alternativa S.1 respecto de la S.0 en torno al 28%, el diseño de la alternativa S.1 supone un incremento notable de la superficie viaria para el tránsito motorizado (+46%), que implica que el corredor tenga en ambas alternativas un *rendimiento negativo*.

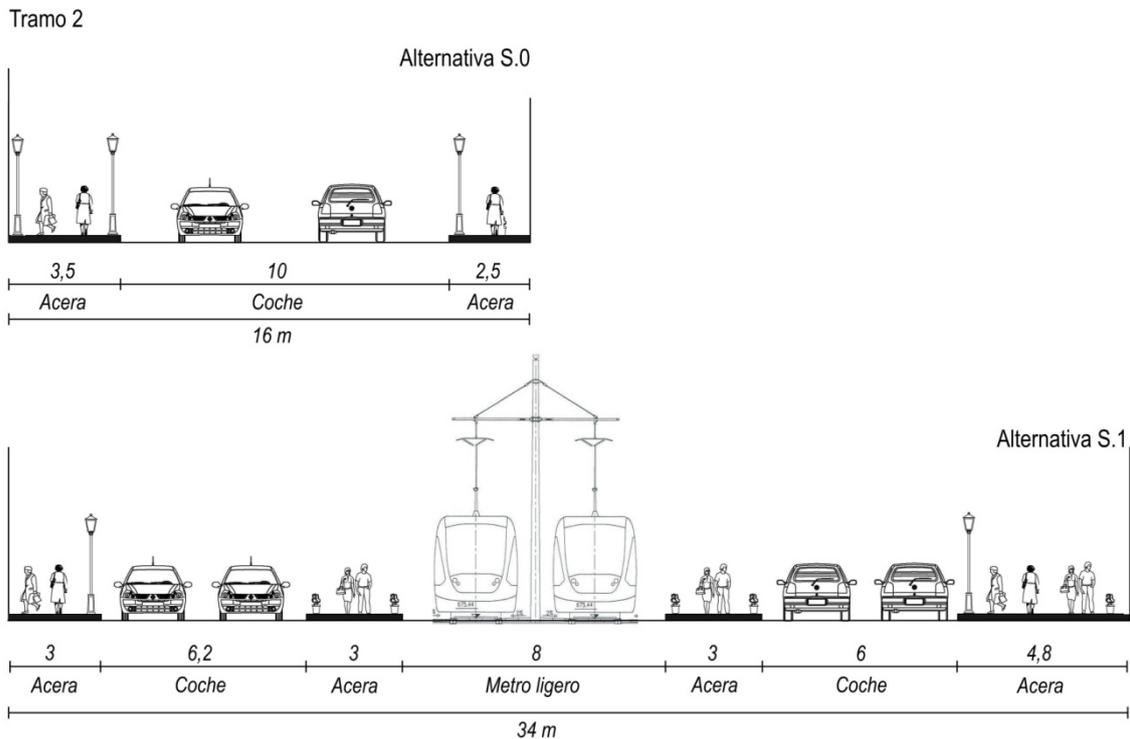


Figura 4.17. Ordenación modal viaria de las alternativas S.0 y S.1 en el tramo 2 del corredor.
Fuente: elaboración propia

En cuanto a los tramos cuyos valores forman parte de los *intervalos de transición* de los umbrales ambientales, destacar que en la alternativa S.0 solamente el tramo 7 entre las paradas Carretera Jaén y Estación Autobuses ocupa el *intervalo de transición* del UCC, situación que se aprovecha por la alternativa S.1 para que este tramo alcance un nivel de *rendimiento óptimo*. Por otro lado, son 3 los tramos que en la alternativa S.1 ocupan *intervalos de transición* de los umbrales definidos (tramos 4, 20 y 22). Tramos 4, 20 y 22 que pasan de un *rendimiento negativo* en la alternativa S.0 a entrar en el *intervalo de transición* del UCI en la alternativa S.1.

Finalmente, el análisis realizado muestra que la alternativa S.1 presenta una mejora evidente del nivel de rendimiento ambiental del corredor, constatado en un aumento de tramos con *rendimiento óptimo* respecto a la alternativa S.0 (15 tramos en la alternativa S.1 y 8 tramos en la alternativa S.0), así como, en la reducción de tramos con *rendimiento negativo*, que pasan de un número de 15 en la alternativa S.0 a 8 en la alternativa S.1. Igualmente, se ha podido comprobar una cierta correspondencia entre el aumento de niveles de rendimiento en determinados tramos del corredor y la mejora de su coexistencia modal viaria en la alternativa S.1 (ej. Tramo 20). En un mismo orden, se percibe que todos los tramos que aumentan sus viajes-Km por encima del 30% tienen mejoras de sus niveles de rendimiento ambiental, como ocurre, por ejemplo, en los tramos 8, 9 y 25.

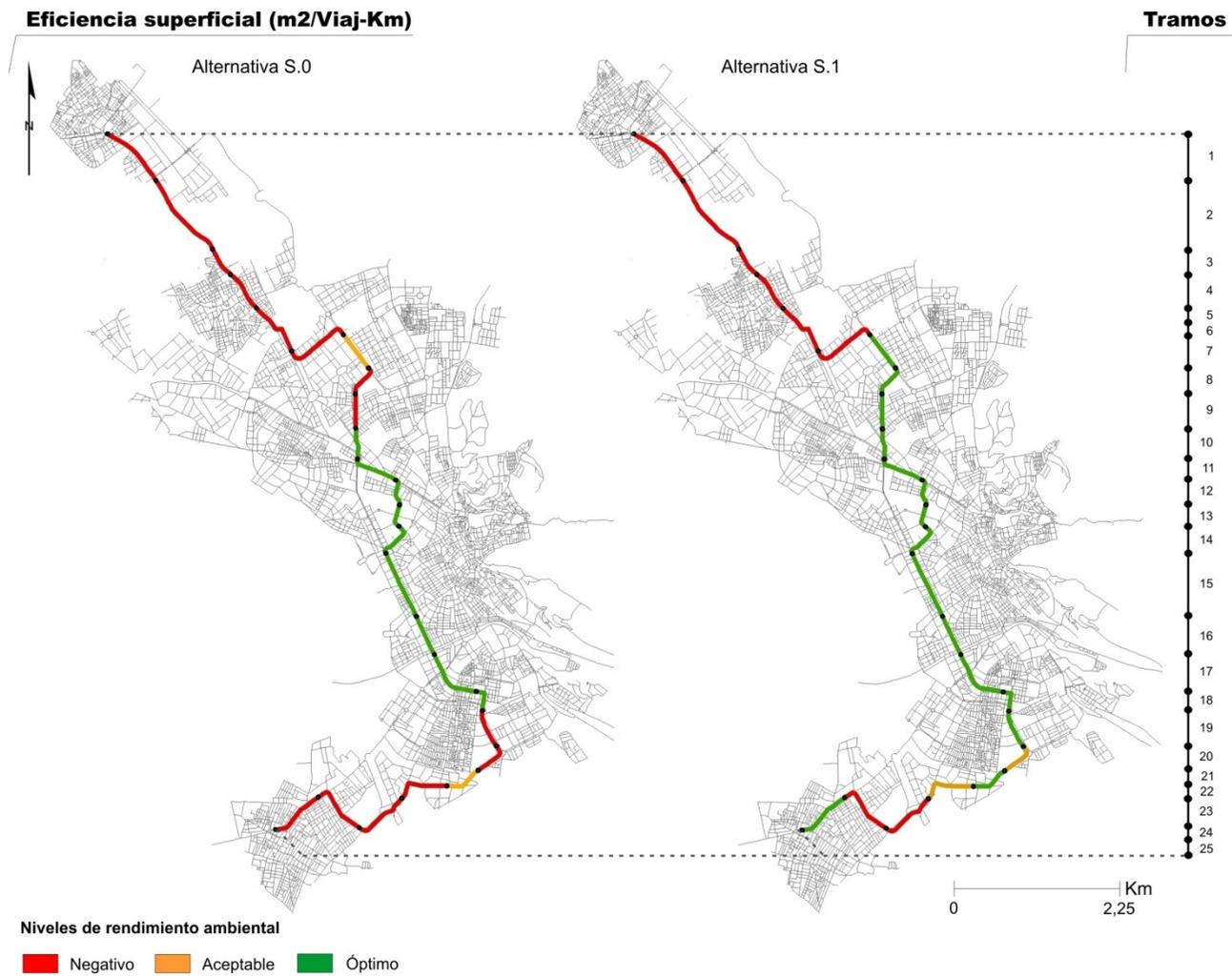


Figura 4.18. Niveles de rendimiento ambiental de la eficiencia superficial. Alternativas S.0 y S.1. Fuente: elaboración propia

4.4.2 Indicadores relativos a la emisión de residuos

4.4.2.1. Concentración de PM₁₀

La **concentración de PM₁₀ (CPM₁₀)** se expresa en $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ diarios. El aumento de $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ de PM₁₀ viene a ser indicativo de una disminución del rendimiento ambiental del corredor.

En promedio sobre la totalidad de tramos del corredor, la concentración de PM₁₀ decrece en la alternativa S.1 un 20,7% respecto de la alternativa S.0. Al igual que en apartados anteriores, se cruzarán los resultados obtenidos para este indicador con los umbrales ambientales definidos, con el fin de profundizar en la comparación de alternativas. Para ello, se utilizará el valor de 20 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ en el caso del umbral crítico de calidad (UCC) y de 30 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ en el caso del umbral crítico de impacto (UCI). La tabla 4.16 recoge para cada alternativa, el número de tramos que ocupa cada nivel de rendimiento, conjuntamente con los cambios existentes.

Tabla 4.16. Tabla de contingencia entre las alternativas S.0 y S.1 para la concentración de PM₁₀

		Alternativa S.1			Nº Tramos S.0 (total)
		Óptimo	Aceptable	Negativo	
Alternativa S.0	Óptimo	18	0	0	18
	Aceptable	4	2	0	6
	Negativo	0	1	0	1
Nº Tramos S.1 (total)		22	3	0	

Fuente: elaboración propia

En la mayoría de tramos del corredor, la concentración de PM₁₀, presenta un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.0. Concretamente, esta alternativa cuenta en 18 de sus tramos con un *rendimiento óptimo*, 6 tramos con un *rendimiento aceptable* y 1 tramo con *rendimiento negativo*, mientras que en la alternativa S.1, la distribución de tramos deja como resultado un incremento de hasta 22 tramos con *rendimiento óptimo*, 3 tramos con *rendimiento aceptable* y ningún tramo con *rendimiento negativo*.

De forma detallada, de los 22 tramos que en la alternativa S.1 tienen un *rendimiento óptimo*, 18 de ellos tienen ese mismo nivel en la alternativa S.0. En concreto, hacen referencia al sector comprendido entre los tramos 1 y 9 entre las paradas Jacobo Camarero y Perete, tramo 13 entre las paradas Renfe y Universidad, conjuntamente con el sector que comprende los tramos del 18 al 25 entre las paradas Hípica y Poniente. Los 4 tramos restantes que conforman el nivel de *rendimiento óptimo* en la alternativa S.1, tienen en la alternativa S.0 un *rendimiento aceptable*. Estos tramos son: el tramo 12, 14, 15 y 16.

Respecto de los tres tramos que en la alternativa S.1 presentan un *rendimiento aceptable*, 2 de ellos ya tenían en la alternativa S.0 *niveles aceptables* (tramos 10 y 11), mientras que el tramo restante presenta en la alternativa S.0 un *rendimiento negativo* (tramo 17).

Las figuras 4.19 y 4.20 detallan la distribución de tramos por niveles de rendimiento para el caso específico de la concentración de PM₁₀.

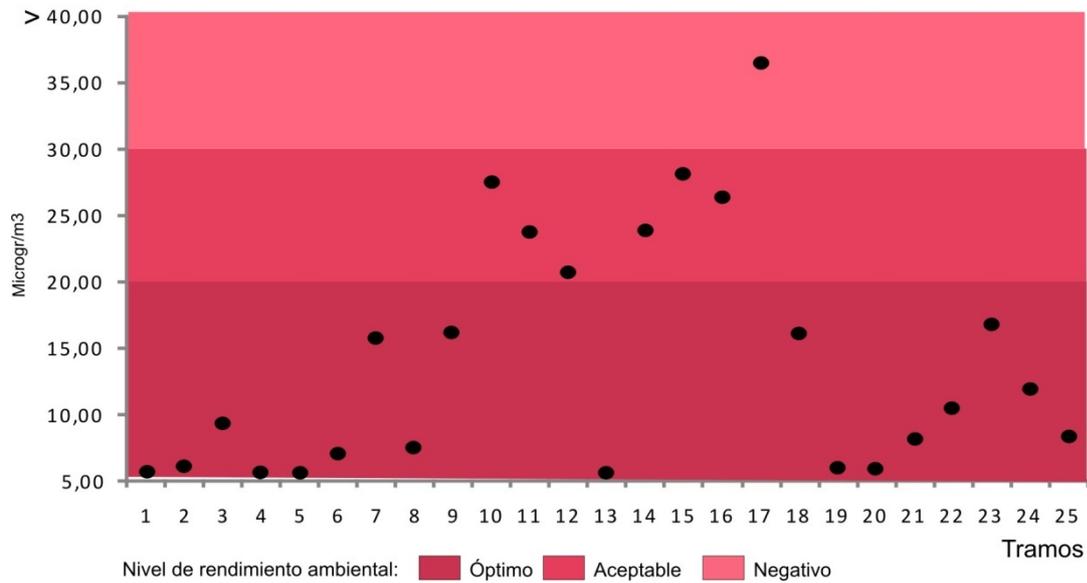


Figura 4.19. Alternativa S.0. Tramos y niveles de rendimiento para la concentración de PM₁₀.
Fuente: elaboración propia

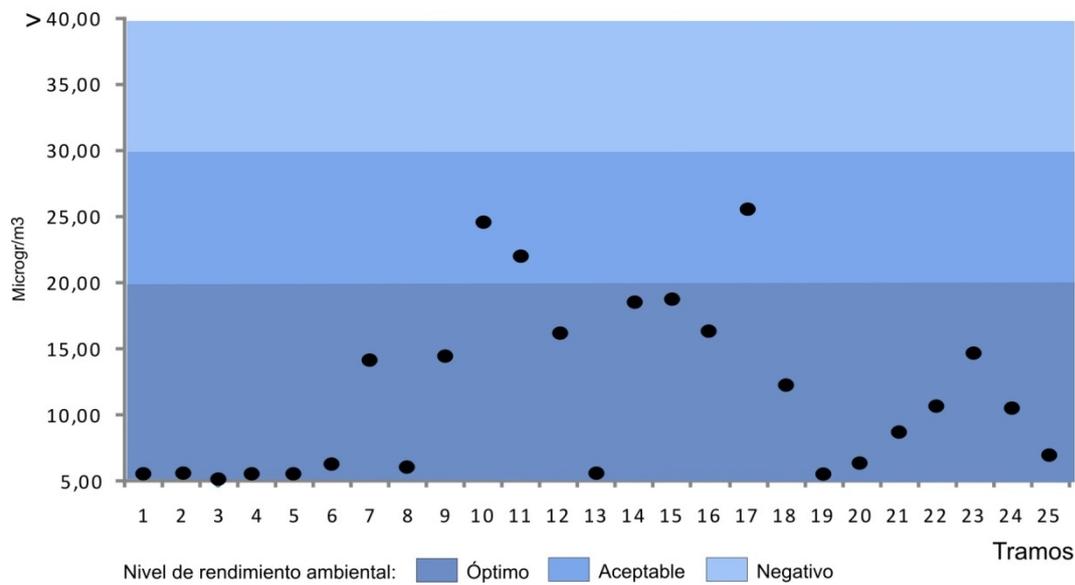


Figura 4.20. Alternativa S.1. Tramos y niveles de rendimiento para la concentración de PM₁₀.
Fuente: elaboración propia

Los resultados analizados en el capítulo 4 dejaban ver la existencia de relaciones entre la dotación de espacio público en la sección viaria y la variación de μgr/m³ de PM₁₀. Dicha relación es igualmente significativa a la hora de valorar las principales alteraciones existentes entre los niveles de rendimiento ambiental. De esta forma, destacan sobre el resto, el caso especial de los tramos 15, 16 y 17, lugares que incrementan su espacio público en torno a un 22% en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, lo que contribuye –entre otros factores

como la reducción en los flujos de tráfico motorizado- a una reducción promedio de la concentración de PM_{10} de $10,13 \mu\text{gr}/\text{m}^3$. Esta situación implica que tanto el tramo 15 como el 16 pasen de un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.0 a un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.1. A su misma vez, el tramo 17 que presenta en la alternativa S.0 un *rendimiento negativo*, en la alternativa S.1 pasa a tener un *rendimiento aceptable*. La figura 4.21 ilustra las variaciones de espacio público en tales tramos.

Los tres tramos que no experimentan reducciones en la concentración de PM_{10} son el tramo 20, 21 y 22 entre las paradas Palacio Deportes y Campus Salud I, coincidiendo con una reducción promedio de su dotación de espacio público en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 del 26%. Ahora bien, los tres tramos mencionados tienen un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.0 que no se ve alterado en la alternativa S.1 a pesar del incremento de los $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ de PM_{10} en esta alternativa.

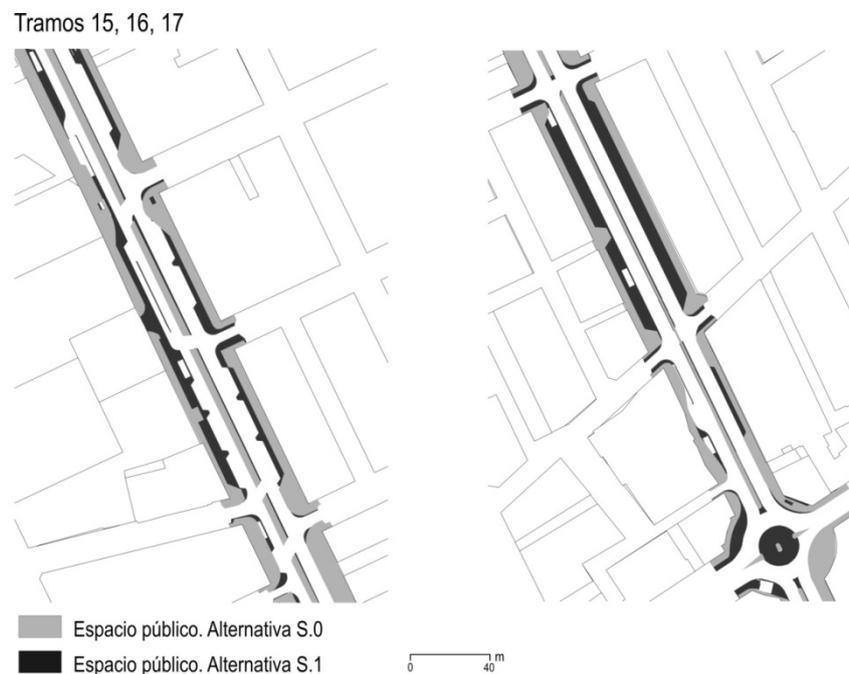


Figura 4.21. Variación de la superficie verde y peatonal entre la alternativa S.0 y S.1 en los tramos 14, 15, 16. Fuente: elaboración propia

Destacar de los resultados obtenidos, que solamente el tramo 12 en el caso de la alternativa S.1 ocupa uno de los *intervalos de transición* definidos para cada umbral ambiental. Específicamente, el tramo 12 ocupa el *intervalo de transición* del UCC, mientras que en la alternativa S.0 presenta un *rendimiento óptimo*.

A modo de síntesis, indicar que a diferencia de otros indicadores analizados, el nivel de rendimiento ambiental relativo de la concentración de PM_{10} en la alternativa S.0 es muy bueno, ya que 18 de los 25 tramos cuentan con un *rendimiento óptimo*. A pesar de ello, en la alternativa S.1 se consigue aumentar hasta 22 los tramos con *rendimiento óptimo*, así como no tener ningún tramo con *rendimiento negativo*, siendo importante para esta cuestión, entre otros factores, las variaciones en la dotación de espacio público existentes entre una y otra alternativa.

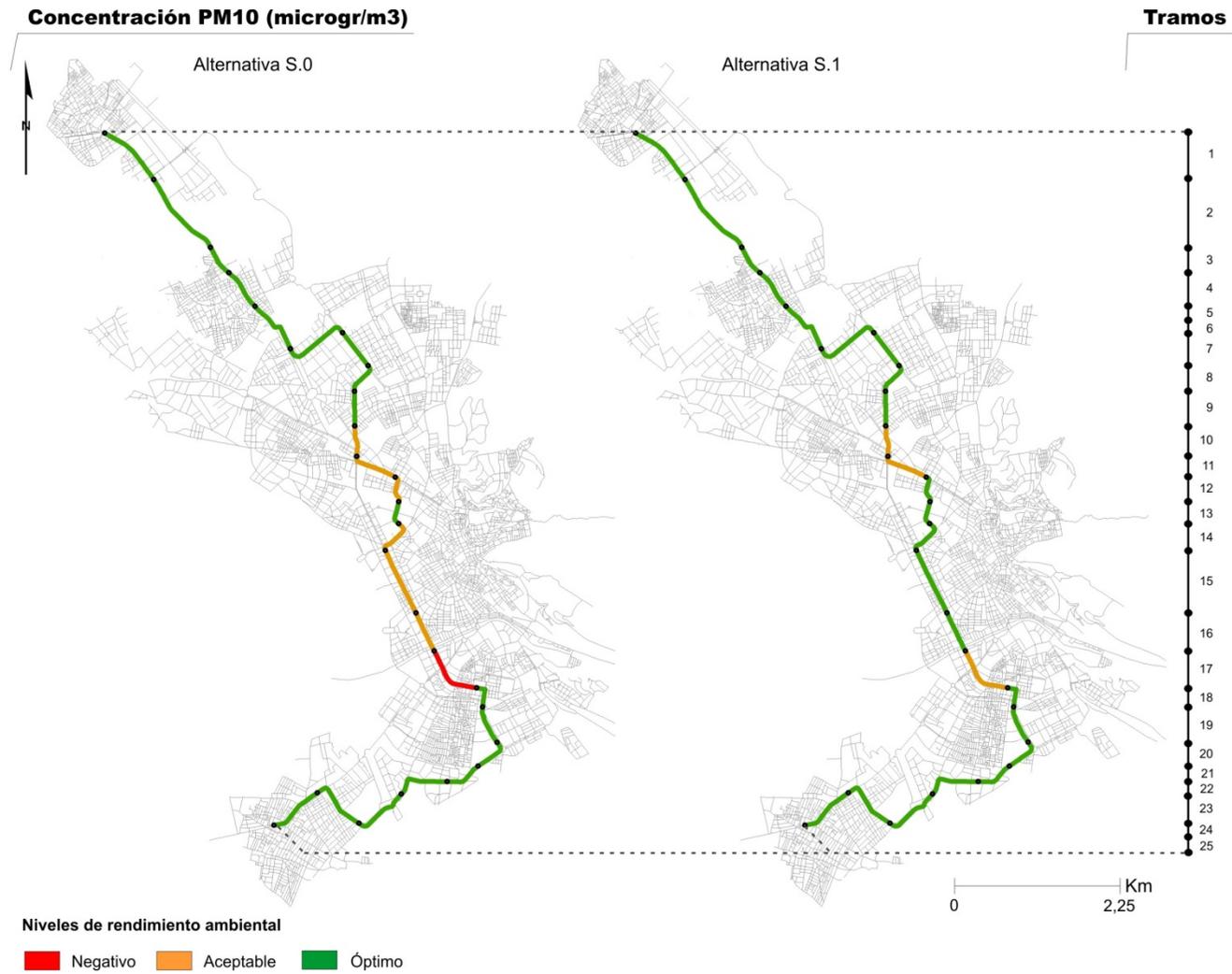


Figura 4.22. Niveles de rendimiento ambiental de la concentración de PM₁₀. Alternativas S.0 y S.1. Fuente: elaboración propia

4.4.2.2. Emisión de ruido

El indicador **emisión de ruido (ER)** se expresa en dB(A) diarios, cuyo aumento se corresponde con disminuciones del rendimiento ambiental del corredor.

A nivel promedio para la totalidad de tramos del corredor, la emisión sonora permanece prácticamente constante entre las dos alternativas evaluadas, lo que se puede ver en el valor promedio de dB(A) obtenido en cada alternativa, equivalente a 70,06 dB(A) en el caso de la alternativa S.0 y de 68,8 dB(A) en el caso de la alternativa S.1. Del mismo modo que los resultados obtenidos para la concentración de PM₁₀ mostraban a éste como uno de los indicadores más favorables de cara al rendimiento ambiental del corredor, los niveles de ruido obtenidos en ambas alternativas reflejan el extremo contrario, haciendo de la emisión sonora, el indicador más negativo de cara al rendimiento ambiental del corredor tal y como a continuación se analizará.

Tomando como referencia 55 dB(A) para el caso del umbral crítico de calidad (UCC) y 65 dB(A) para el caso del umbral crítico de impacto (UCI). La tabla 4.17 muestra la distribución de tramos por niveles de rendimiento ambiental y alternativa, así como, los cambios existentes.

Tabla 4.17. Tabla de contingencia entre las alternativas S.0 y S.1 para la emisión de ruido

		Alternativa S.1			Nº Tramos S.0 (total)
		Óptimo	Aceptable	Negativo	
Alternativa S.0	Óptimo	1	0	0	1
	Aceptable	0	0	1	1
	Negativo	0	0	23	23
Nº Tramos S.1 (total)		1	0	24	

Fuente: elaboración propia

La ya mencionada escasa variación de la emisión sonora entre la alternativa S.1 y S.0, se agrava cuando se observa que la mayoría de tramos poseen un *rendimiento negativo*. La alternativa S.0 cuenta con 1 tramo con *rendimiento óptimo* (tramo 13 entre las paradas Estación Renfe y Universidad), 1 tramo con *rendimiento aceptable* (tramo 20 entre Palacio Deportes y Los Cármenes) y 23 tramos con *rendimiento negativo*. Por otro lado, en la alternativa S.1 la distribución de tramos deja como resultados: 1 tramo con *rendimiento óptimo* (tramo 13 entre las paradas Estación Renfe y Universidad), ningún tramo con *rendimiento aceptable* y 24 tramos con *rendimiento negativo*. Las figuras 4.23 y 4.24 detallan la distribución de tramos por niveles de rendimiento.

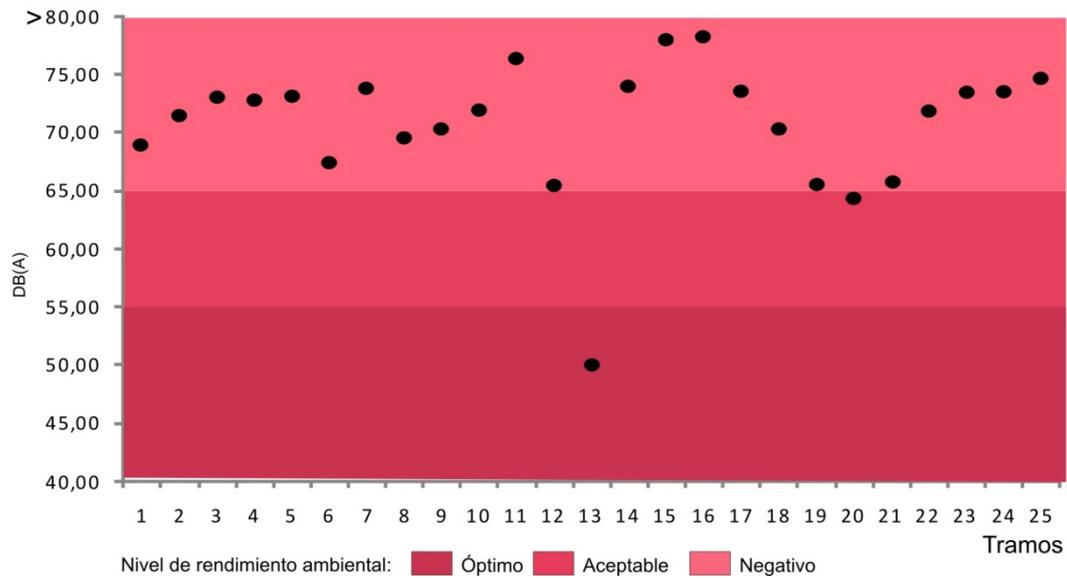


Figura 4.23. Alternativa S.0. Tramos y niveles de rendimiento para la emisión de ruido. Fuente: elaboración propia

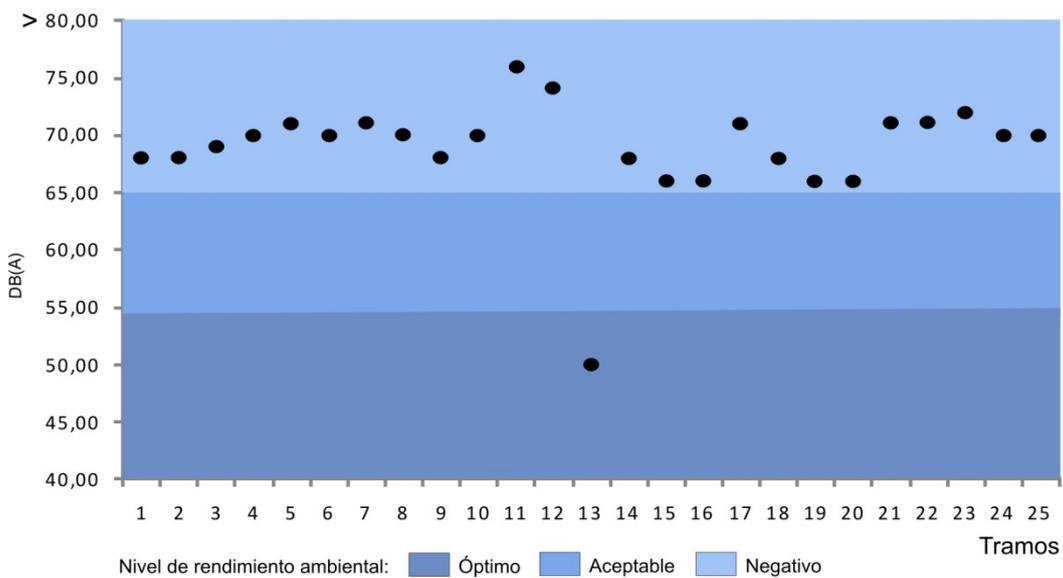


Figura 4.24. Alternativa S.1. Tramos y niveles de rendimiento para la emisión de ruido. Fuente: elaboración propia

Es importante tener en cuenta, que a pesar de que el promedio de tramos del corredor registra una ligera disminución de los dB(A) emitidos en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, al cruzar los resultados de cada tramo con los umbrales ambientales adoptados, se ve como esa disminución en los dB(A) emitidos no es suficiente en ningún caso para mejorar el nivel de rendimiento ambiental de éstos. Además, como resultado se obtiene que se incrementa en la alternativa S.1 el número de tramos con *rendimiento negativo* respecto de la alternativa S.0.

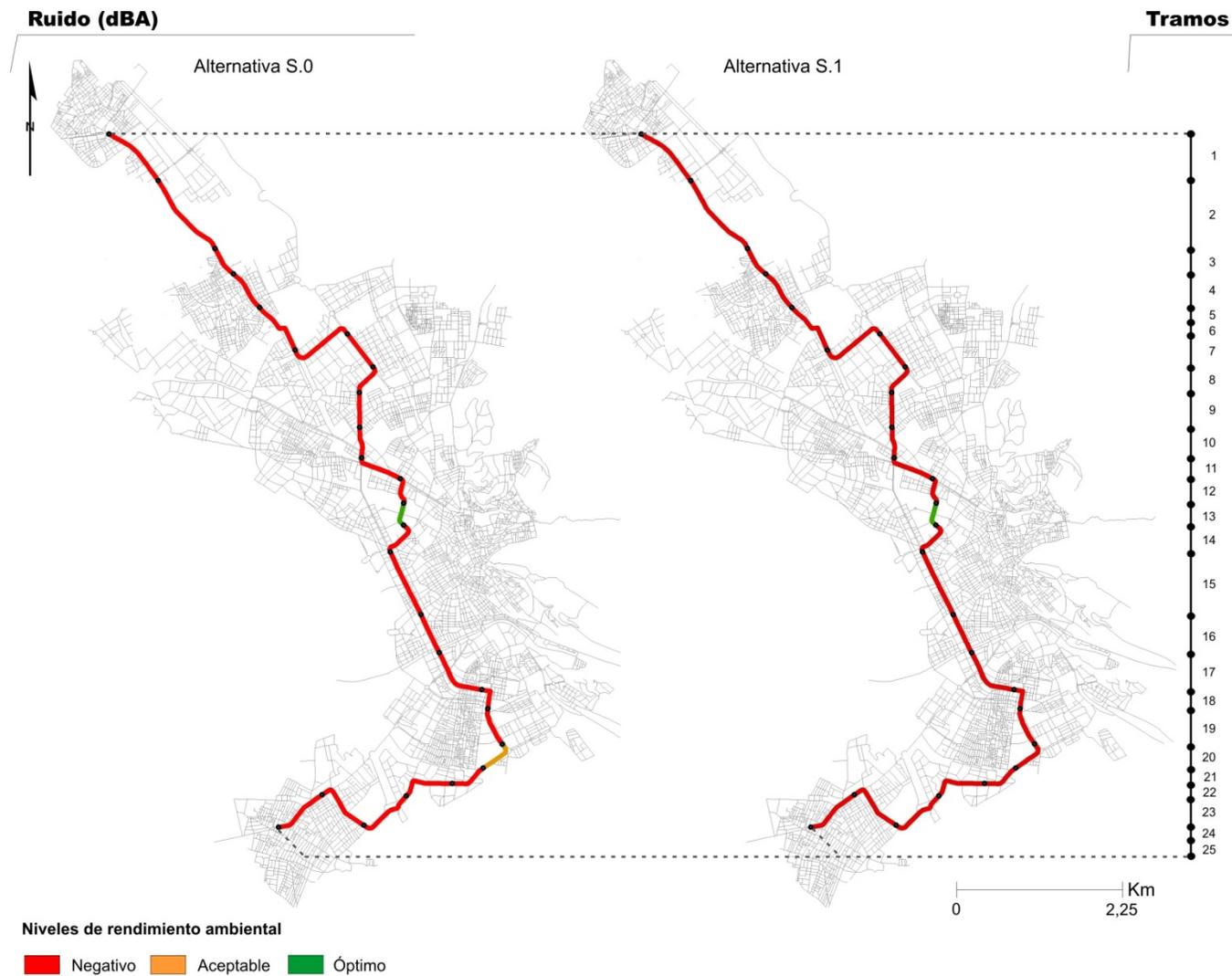


Figura 4.25. Niveles de rendimiento ambiental de la emisión de ruido. Alternativas S.0 y S.1. Fuente: elaboración propia

Al igual que en el caso de la concentración de PM_{10} , los resultados obtenidos en el capítulo 4 indicaban la existencia de una correspondencia entre la dotación de espacio público de cada alternativa y la emisión de ruido. A partir de esta cuestión se procede a comentar algunos de los principales cambios que acontecen sobre el nivel de rendimiento ambiental derivado de la emisión de ruido. Por lo general, todos aquellos tramos donde existe un incremento en la alternativa S.1 de la dotación de espacio público superior al 25% respecto de la existente en la alternativa S.0, llevan implícito disminuciones en su nivel de ruido, que si bien no son lo suficientemente importantes como para inducir el alcance de un nivel de rendimiento ambiental superior, en algunos casos permiten que el valor de ese tramos alcance en la alternativa S.1 el *intervalo de transición* del UCI. Los tramos 15 y 16 del corredor son buenos ejemplos en este sentido, ya que en la alternativa S.0 tienen un *rendimiento negativo*, mientras que en la alternativa S.1 siguen teniendo un *rendimiento negativo* pero dentro del *intervalo de transición* del UCI, situación que coincide con un incremento de la dotación de espacio público en la alternativa S.1 por encima del 25%.

En sentido contrario, los tramos que no incrementan su dotación de espacio público, difícilmente logran en la alternativa S.1 mejorar en sus niveles de emisión sonora. Esta situación se encuentra bien ejemplificada en el caso particular del tramo 20 entre las paradas Palacio Deportes y Los Cármenes, donde la disminución en la dotación de espacio público en la alternativa S.1 supone –entre otros factores como los flujos de tráfico motorizado- pasar de un nivel de *rendimiento aceptable*, aunque dentro del *intervalo de transición* del UCI, a un nivel de *rendimiento negativo*, aunque también dentro del *intervalo de transición* del UCI.

A raíz de los comentarios expuestos, se deduce que a diferencia del resto de indicadores que componen el sistema de evaluación, en los resultados obtenidos para la emisión de ruido son muy abundantes el número de tramos que forman parte de los *intervalos de transición* definidos para cada umbral ambiental, específicamente del *intervalo de transición* del UCI. Esto es consecuencia, precisamente, de las pequeñas variaciones existentes entre las alternativas evaluadas, que provocan en numerosas ocasiones que los cambios en los niveles de ruido no acaben de materializarse con cambios en los niveles de rendimiento ambiental del corredor. La figura 4.26 sintetiza a nivel esquemático, todos aquellos tramos cuyo valor de emisión de ruido ocupa el *intervalo de transición* de algunos de los umbrales ambientales definidos.

Finalmente, destacar que la emisión de ruido hace referencia al indicador con peor rendimiento ambiental de todos los considerados, incluso incrementando de 23 a 24 el número de tramos con *rendimiento negativo* en la alternativa S.1 respecto a la alternativa S.0.

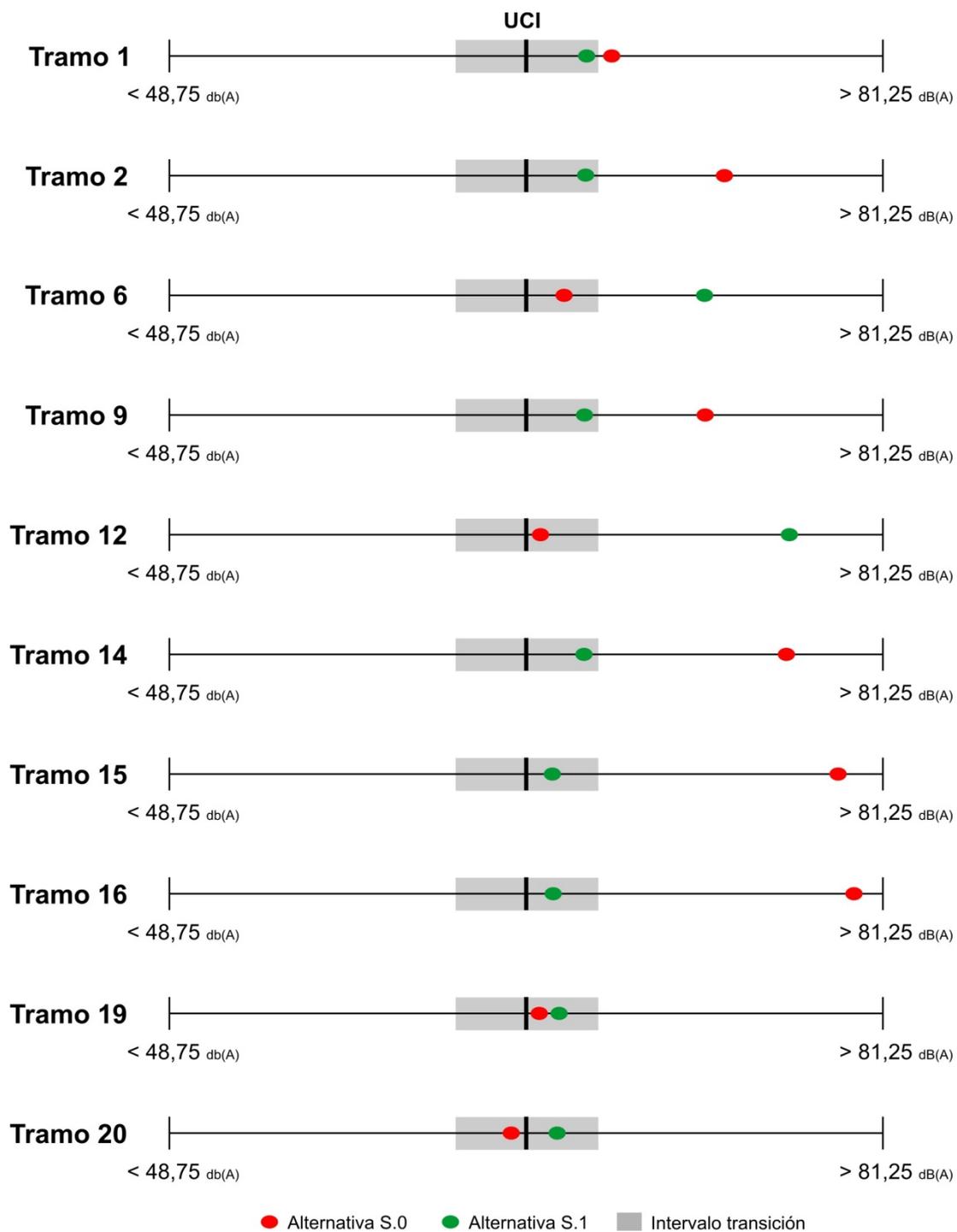


Figura 4.26. Tramos con dB(A) en *intervalos de transición*. Alternativas S.0 y S.1. Fuente: elaboración propia

4.4.3 Indicadores relativos al uso modal viario

4.4.3.1. Coeficiente viario de reparto

El **coeficiente viario de reparto (CVR)** se expresa en m^2 tramo/ m^2 peat. Cuanto más elevado sea el valor de este indicador, menor será el rendimiento ambiental del corredor.

El coeficiente viario promedio para el total de tramos del corredor es de $2,07 m^2$ tramo/ m^2 peat en la alternativa S.0 y de $2,04 m^2$ tramo/ m^2 peat en la alternativa S.1. A pesar de la escasa variación mostrada en promedio para el total del corredor, los resultados de este indicador a nivel de cada tramo, muestran importantes cambios entre las alternativas consideradas, por lo que el objetivo central de este apartado se centrará en analizar si tales cambios tienen también incidencia en los niveles de rendimiento.

Para determinar los niveles de rendimiento ambiental de cada alternativa y tramo, se utilizarán los umbrales ambientales estimados para este indicador, que son de $1,92 m^2$ tramo/ m^2 peat en el caso del umbral crítico de calidad (UCC) y de $3,04 m^2$ tramo/ m^2 peat en el caso del umbral crítico de impacto (UCI). La tabla 4.18 recoge para cada alternativa, el número de tramos por niveles de rendimiento, conjuntamente con los cambios existentes.

Tabla 4.18. Tabla de contingencia entre las alternativas S.0 y S.1 para el coeficiente viario de reparto

		Alternativa S.1			Nº Tramos S.0 (total)
		Óptimo	Aceptable	Negativo	
Alternativa S.0	Óptimo	6	6	0	12
	Aceptable	4	9	0	13
	Negativo	0	0	0	0
Nº Tramos S.1 (total)		10	15	0	

Fuente: elaboración propia

Destaca el hecho de que en ninguna de las dos alternativas existen tramos con *rendimiento negativos*, a la vez que se produce un ligero descenso del nivel de rendimiento ambiental en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0. La alternativa S.0 cuenta en 12 de sus tramos con un *rendimiento óptimo*, 13 tramos con un *rendimiento aceptable* y ningún tramo con *rendimiento negativo*, mientras que en la alternativa S.1, la distribución de tramos muestra 10 tramos con *rendimiento óptimo* y 15 tramos con un *rendimiento aceptable*. Las figuras 4.27 y 4.28 detallan la distribución de tramos por niveles de rendimiento.

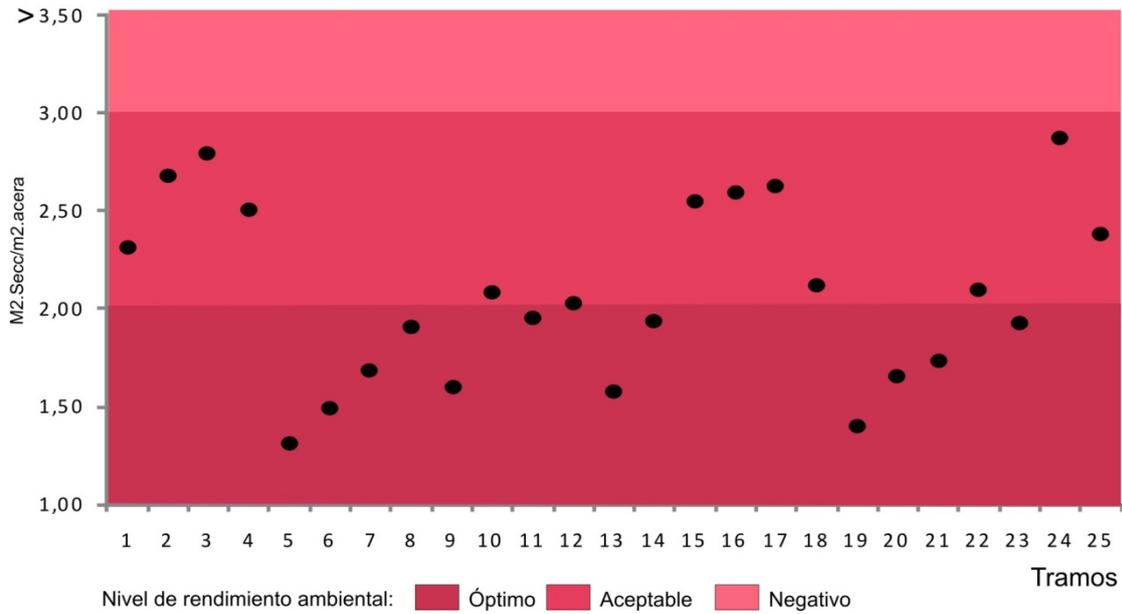


Figura 4.27. Alternativa S.0. Tramos y niveles de rendimiento para el coeficiente viario de reparto. Fuente: elaboración propia

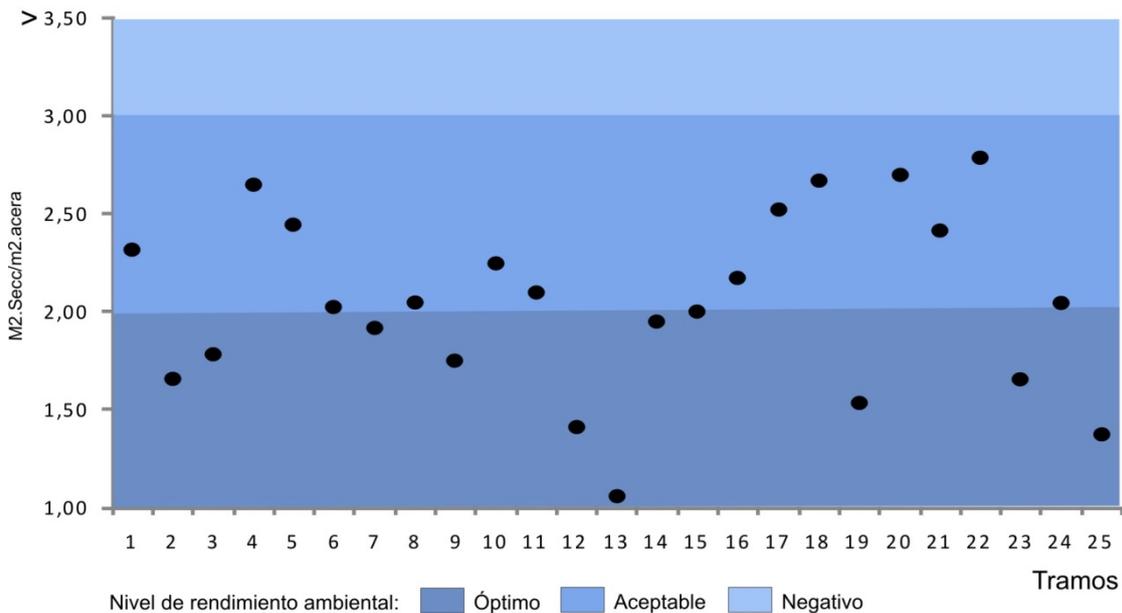


Figura 4.28. Alternativa S.1. Tramos y niveles de rendimiento para el coeficiente viario de reparto. Fuente: elaboración propia

De los 10 tramos que en la alternativa S.1 poseen un *rendimiento óptimo*, 6 de ellos tienen este nivel en la alternativa S.0 (tramos 7, 9, 13, 14, 19 y 23), mientras que los 4 tramos restantes tienen un *rendimiento aceptable*. Analizando con detalle la situación de los 4 tramos que incrementan su nivel de rendimiento hasta un nivel óptimo entre la alternativa S.0 y S.1, en concreto los tramos 2, 3, 12 y 15, se puede apreciar que no solo aumentan el espacio destinado a la movilidad no motorizada, sino que con la excepción del tramo 15 entre las

paradas Méndez Núñez y Recogidas, coinciden con aquellos tramos donde se promueve unos valores mayores de coexistencia modal en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0. Consecuencia de lo anterior, la reordenación viaria de estos tramos está orientada a incorporar el sistema de metro ligero sin alterar el espacio destinado al tránsito motorizado y aumentando el espacio no motorizado, lo que se consigue en la alternativa S.1 respecto de la S.0 por medio de la eliminación de los espacios de aparcamiento, que pasan en valores promedio de 891m² en la alternativa S.1 a 583m² en la alternativa S.0. La figura 4.29 ilustra la situación apuntada en el caso particular del tramo 12.

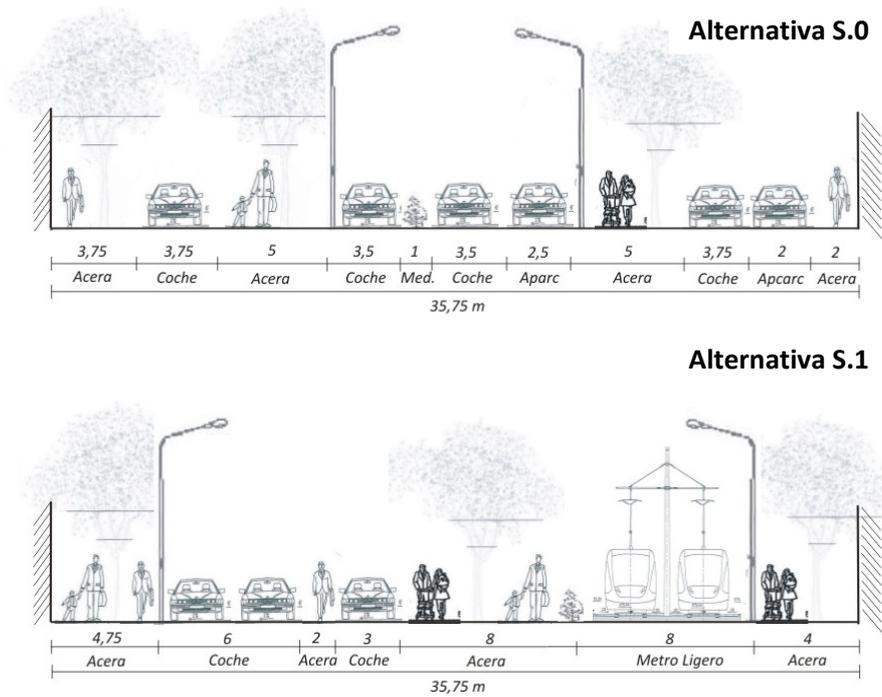


Figura 4.29. Ordenación modal del tramo 12 para cada alternativa. Fuente: elaboración propia

Respecto de los 15 tramos restantes, los cuales tienen un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.1, es preciso apuntar que 9 de ellos ya tienen dicho nivel en la alternativa S.1, específicamente los tramos 14, 10, 15, 16, 17, 18, 22 y 24. Por otro lado, los 6 tramos restantes, tramos 5, 6, 8, 11, 20 y 21 poseían un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.0., lo que implica dar prioridad a la movilidad motorizada frente a la movilidad no motorizada.



Figura 4.30. Niveles de rendimiento ambiental del coeficiente viario de reparto. Alternativas S.0 y S.1. Fuente: elaboración propia

En cuanto a aquellos tramos cuyo coeficiente viario de reparto se encuentra en el *intervalo de transición* de los umbrales ambientales definidos, destacar que esta situación se produce especialmente en el caso de la alternativa S.0, donde hasta 4 tramos (tramo 11, 14, 8 y 23) tienen valores dentro del *intervalo de transición* del UCC, de los cuales, solamente el tramo 23 alcanza un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.1. Precisamente en la alternativa S.1 existen dos tramos cuyo coeficiente viario de reparto forma parte del *intervalo de transición* del UCC (tramo 14 y 7), especialmente reseñable es el caso del tramo 7 que en la alternativa S.0 cuenta con un *rendimiento óptimo* (ver figura 4.31).

En base a los resultados obtenidos, existe una ligera disminución del rendimiento ambiental para el caso particular del coeficiente viario de reparto en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, lo que se manifiesta en la disminución de tramos con *rendimiento óptimo* desde un número de 12 en la alternativa S.0 a 10 en la alternativa S.1. Además, el coeficiente viario de reparto es uno de los indicadores que produce un mayor número de cambios de rendimiento ambiental entre los diferentes tramos que componen al corredor.

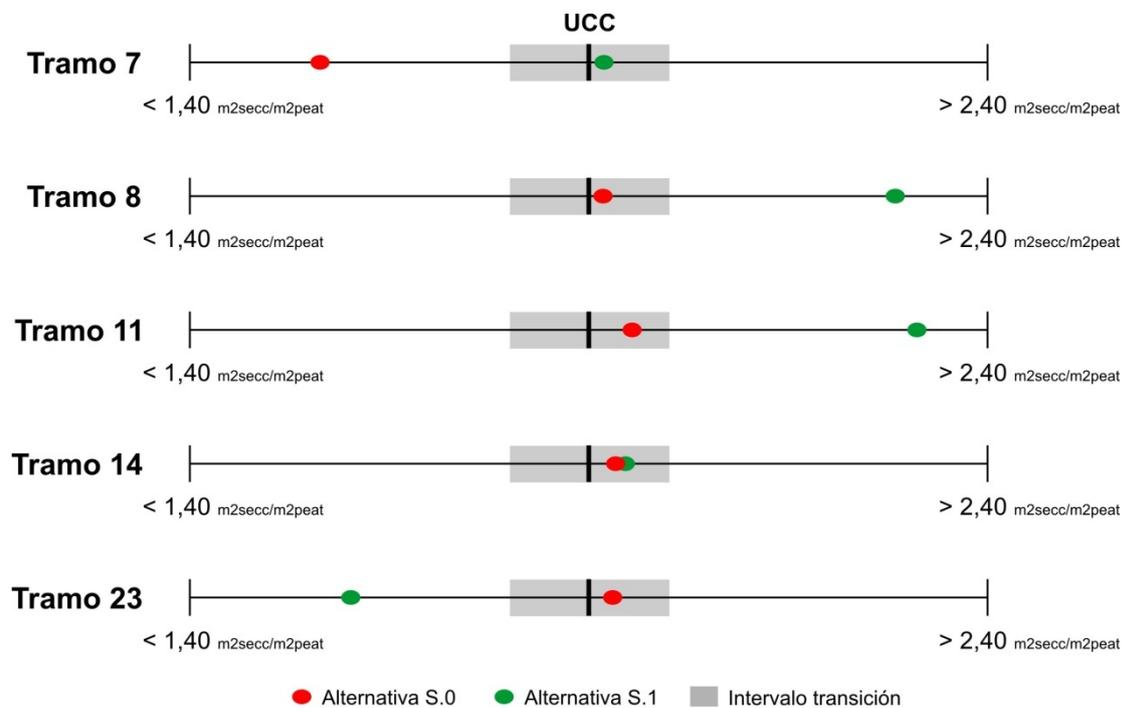


Figura 4.31. Tramos cuyo CVR está dentro de los *intervalos de transición* del UCC. Fuente: elaboración propia

4.4.3.2. Efecto barrera

El **efecto barrera (EB)** se expresa en EB/m, de modo que su incremento supone una disminución del rendimiento ambiental del corredor.

A nivel promedio para la totalidad de tramos del corredor, el efecto barrera muestra una disminución en la alternativa S.1 del 25% respecto de la alternativa S.0, constatada a nivel medio para el total de tramos en valores de 2,22 EB/m en la alternativa S.0 y de 1,68 EB/m en la alternativa S.1.

Los umbrales ambientales estimados son de 0,31 EB/m en el caso del umbral crítico de calidad (UCC) y de 1,38 EB/m en el caso del umbral crítico de impacto (UCI). La tabla 4.19 recoge la distribución de tramos por niveles de rendimiento, así como, los cambios existentes entre las alternativas evaluadas.

Tabla 4.19. Tabla de contingencia entre las alternativas S.0 y S.1 para el efecto barrera

		Alternativa S.1			Nº Tramos S.0 (total)
		Óptimo	Aceptable	Negativo	
Alternativa S.0	Óptimo	3	3	0	4
	Aceptable	3	1	0	5
	Negativo	0	6	10	16
Nº Tramos S.1 (total)		6	9	10	

Fuente: elaboración propia

Existe una mejora evidente de los niveles de rendimiento ambiental consecuencia del efecto barrera en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0. Prueba de ello es que solamente 1 tramo empeora su nivel de rendimiento pasando de un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.0 a un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.0 (tramo 3 entre las paradas Vicuña y Anfiteatro), mientras que la mayoría de los cambios de nivel de rendimiento se producen en sentido positivo desde *rendimientos negativos a aceptables*, así como, desde *aceptables a óptimos*. En la alternativa S.0, existen 4 tramos con un *rendimiento óptimo*, 5 tramos con *rendimiento aceptable* y 16 tramos con *rendimiento bajo*, mientras que en la alternativa S.1 existen 6 tramos con *rendimiento óptimo*, 9 tramos con *rendimiento aceptable* y 10 tramos con *rendimiento negativo*. Las figuras 4.32 y 4.33 detallan la distribución de tramos por niveles de rendimiento.

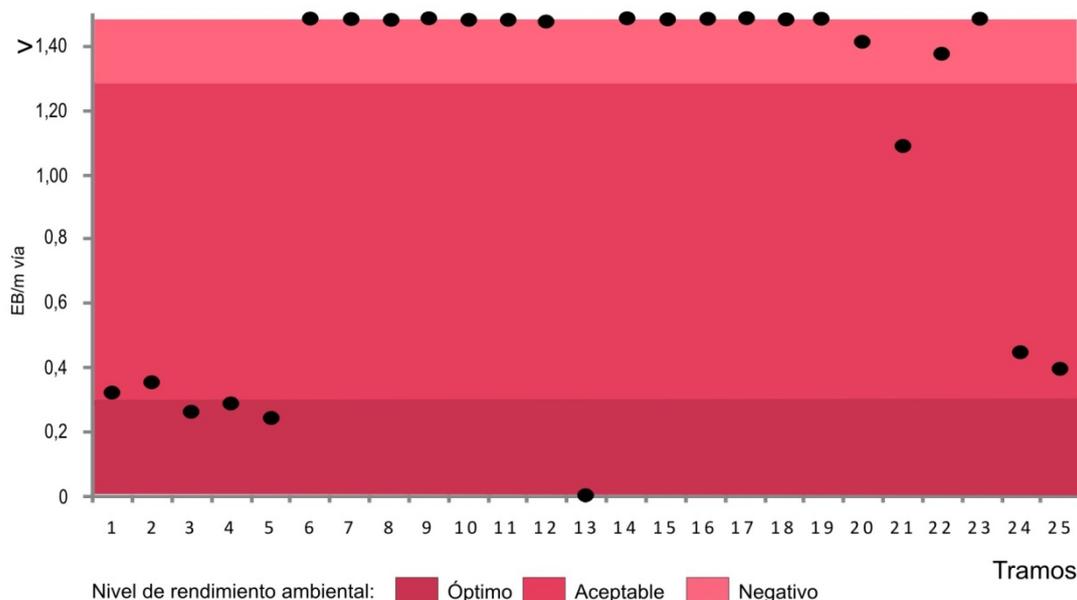


Figura 4.32. Alternativa S.0. Tramos y niveles de rendimiento para el efecto barrera. Fuente: elaboración propia

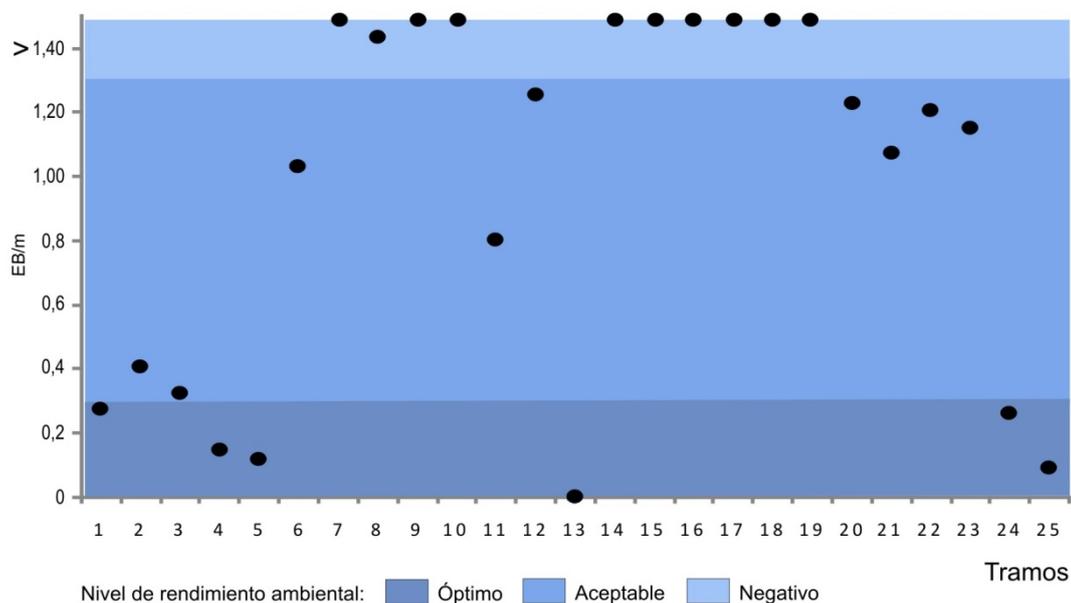


Figura 4.33. Alternativa S.1. Tramos y niveles de rendimiento para el efecto barrera. Fuente: elaboración propia

Respecto de los 6 tramos que poseen un nivel de rendimiento óptimo en la alternativa S.1, 3 de ellos ya tienen dicho nivel en la alternativa S.0., concretamente los tramos 4 y 5 entre las paradas Anfiteatro y Cerrillo Maracena, conjuntamente con el tramo 13 en el Campus Universitario de Fuentenueva entre las paradas Estación de Renfe y Universidad. Los tres tramos restantes que componen este nivel de rendimiento (tramos 1, 24 y 25) presentan un

rendimiento aceptable en la alternativa S.0. Los principales cambios en los niveles de rendimiento ambiental son consecuencia, principalmente, de las nuevas frecuencias modales estimadas en la alternativa S.1 (caso del tramo 1 entre las paradas Jacobo Camarero y Juncaril), conjuntamente con el incremento de la dotación de espacio público (caso de los tramos 24 y 25 entre las paradas Nevada y Poniente).

En cuanto a los 9 tramos que poseen un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.1, 2 de ellos ya tienen dicho nivel en la alternativa S.0, concretamente los tramos 2 y 21, un tramo tiene nivel óptimo, específicamente el tramo 3 entre las paradas Vicuña y Anfiteatro, mientras que los 6 tramos restantes tienen un *rendimiento negativo* en la alternativa S.0 (tramos 6, 11, 12, 20, 22 y 23)

En base a los resultados obtenidos, es importante destacar que de los 10 tramos que presentan un *rendimiento negativo* en la alternativa S.1, el 100% ya tiene este nivel en la alternativa S.0. Tales tramos son: el tramo 7, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 18 y 19.

En cuanto a los tramos cuyo valor de efecto barrera se encuentra en los *intervalos de transición* de los umbrales ambientales, es necesario indicar que el efecto barrera es uno de los indicadores donde tales *intervalos de transición* tienen menos presencia. De esta forma, en la alternativa S.0 el tramo 20 pertenece al *intervalo de transición* del UCI, situación de la que se beneficia la alternativa S.1 que hace pasar al tramo a un *rendimiento aceptable*. Por otro lado, la alternativa S.1 cuenta con dos tramos en el *intervalo de transición* del UCI, concretamente los tramos 8 y 22 que en la alternativa S.0 presentan un *rendimiento negativo*.

A modo de síntesis, indicar que los niveles de rendimiento ambiental respecto del efecto barrera sufren una mejora importante en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, especialmente como consecuencia de la reducción de tramos con *rendimiento negativo*, que pasan de ser 16 en la alternativa S.0 a 10 en la alternativa S.1. Las frecuencias modales de la alternativa S.1, conjuntamente con la dotación de espacio público y reducción de calzada, son los motivos fundamentales de tales cambios.

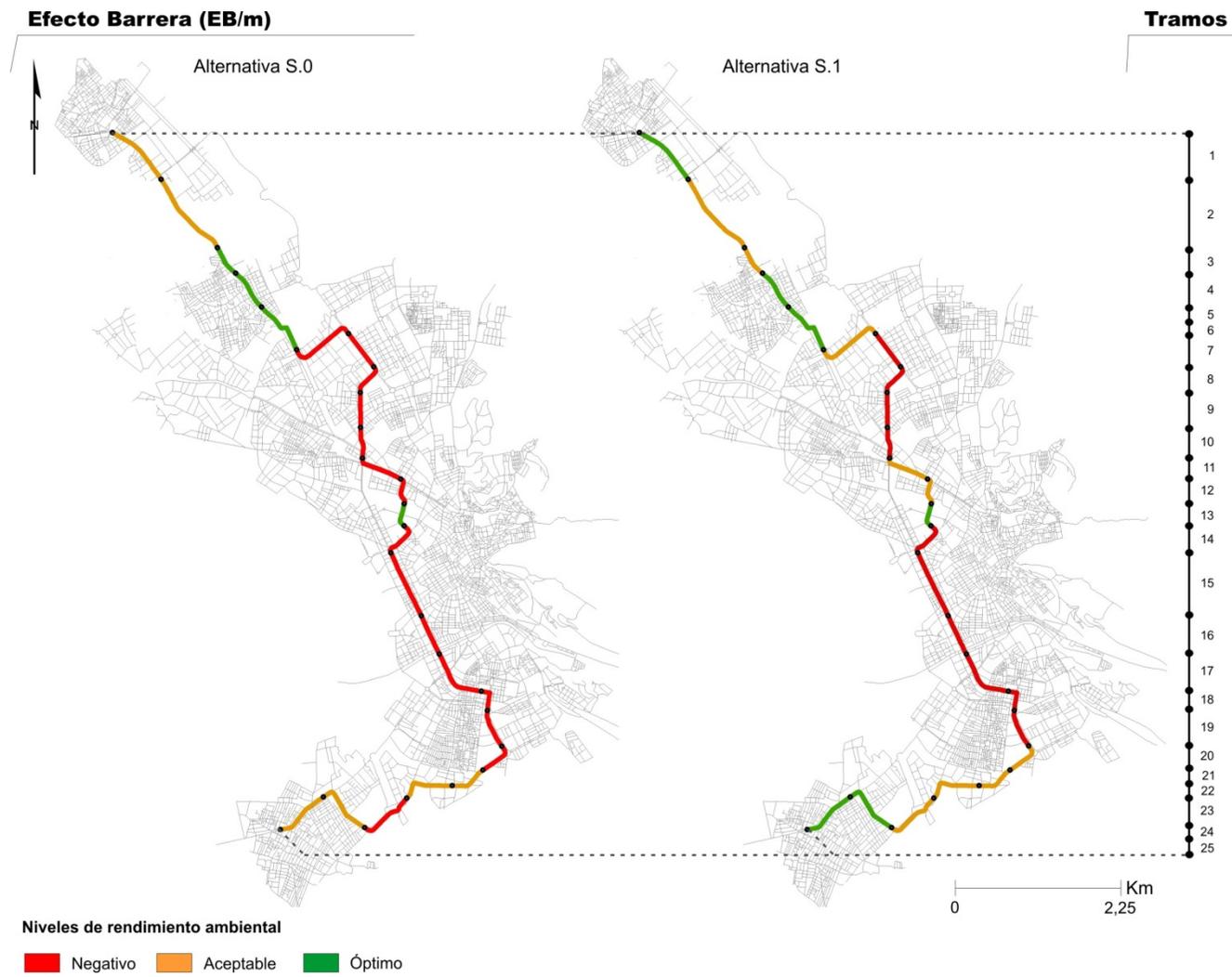


Figura 4.34. Niveles de rendimiento ambiental del efecto barrera. Alternativas S.0 y S.1. Fuente: elaboración propia

4.4.4. Valor ambiental global

El valor ambiental global es el producto de la agregación de los resultados obtenidos para cada uno de los indicadores previamente comentados, cuyo aumento supone una disminución del rendimiento ambiental del corredor.

A través del proceso de agregación de resultados aplicado en el capítulo 4, los umbrales ambientales de calidad e impacto estimados se detallan en la tabla 4.20.

Tabla 4.20. Umbrales para el valor ambiental global

Umbrales ambientales	Nivel de ruido (0-1)
Umbral crítico de impacto (UCI)	0,61
Umbral crítico de calidad (UCC)	0,29

Fuente: elaboración propia

Como resultado de aplicar los umbrales estimados al corredor, existe una mejora del rendimiento ambiental global en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0. Esta mejora se puede observar, principalmente, en lo que tiene que ver con la reducción de tramos con *rendimiento negativo*. A nivel global, la alternativa S.0 presenta 3 tramos con un *rendimiento óptimo* (tramos 5, 13 y 20), 18 tramos con *rendimiento aceptable* y 4 tramos con *rendimiento negativo* (tramos 10, 15, 16 y 17). Por otro lado, la distribución de tramos en la alternativa S.1, deja ver 4 tramos con *rendimiento óptimo* (tramos 2, 3, 13 y 25) y ninguno con rendimiento negativo. La tabla 4.21 recoge la distribución de tramos por niveles de rendimiento, así como, los cambios existentes.

Tabla 4.21. Tabla de contingencia entre las alternativas S.0 y S.1 para el valor ambiental global

	Niveles de rendimiento (Nº tramos)	Alternativa S.1			Nº Tramos S.0 (total)
		Óptimo	Aceptable	Negativo	
Alternativa S.0	Óptimo	1	2	0	3
	Aceptable	3	15	0	18
	Negativo	0	4	0	4
Nº Tramos S.1 (total)		4	21	0	

Fuente: elaboración propia

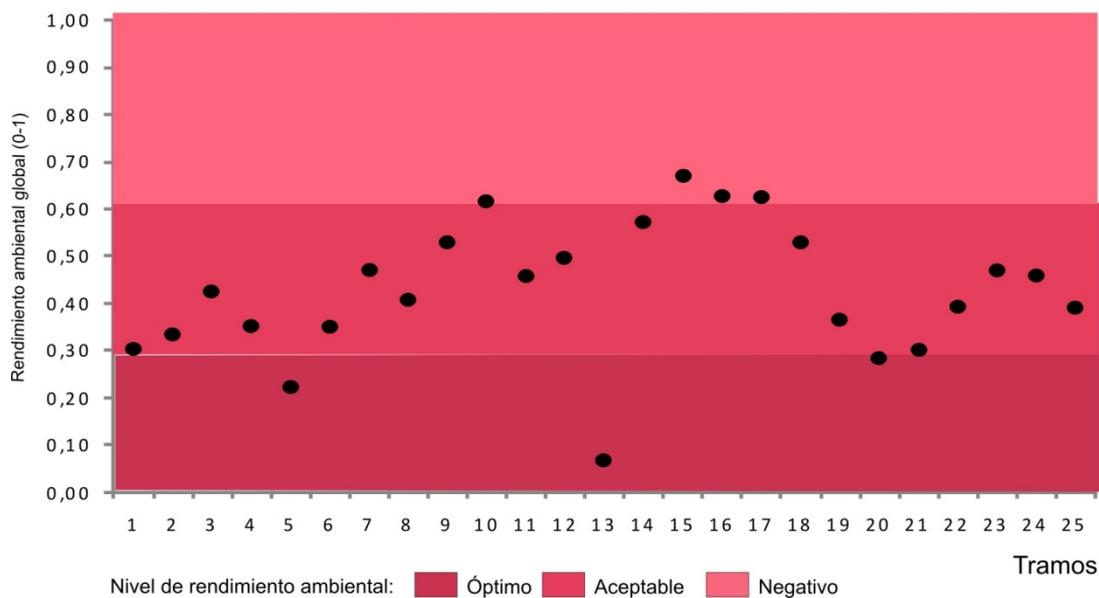


Figura 4.35. Alternativa S.0. Tramos y niveles de rendimiento ambiental global. Fuente: elaboración propia

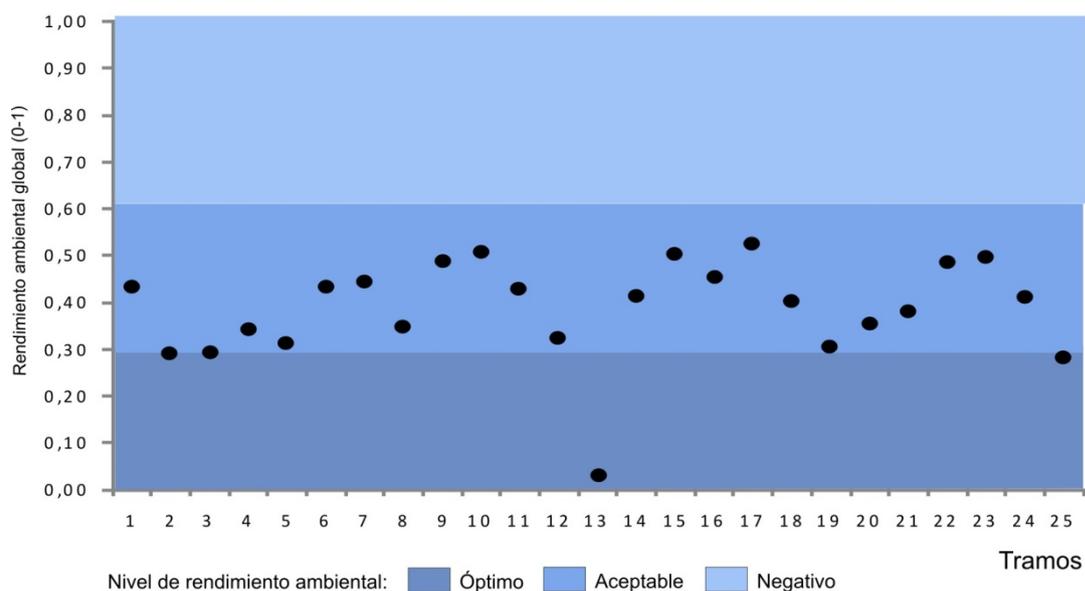


Figura 4.36. Alternativa S.1. Tramos y niveles de rendimiento ambiental global. Fuente: elaboración propia

Entre los principales cambios que tienen lugar en los tramos del corredor, destacan fundamentalmente el paso de los 4 tramos con *rendimiento negativo* (tramos 10, 15, 16 y 17) en la alternativa S.0 a tramos con *rendimiento aceptable* en la alternativa S.1. El caso de los tramos 15, 16 y 17 es significativo, dado el sistema de metro ligero transcurre subterráneo en la propuesta S.1.

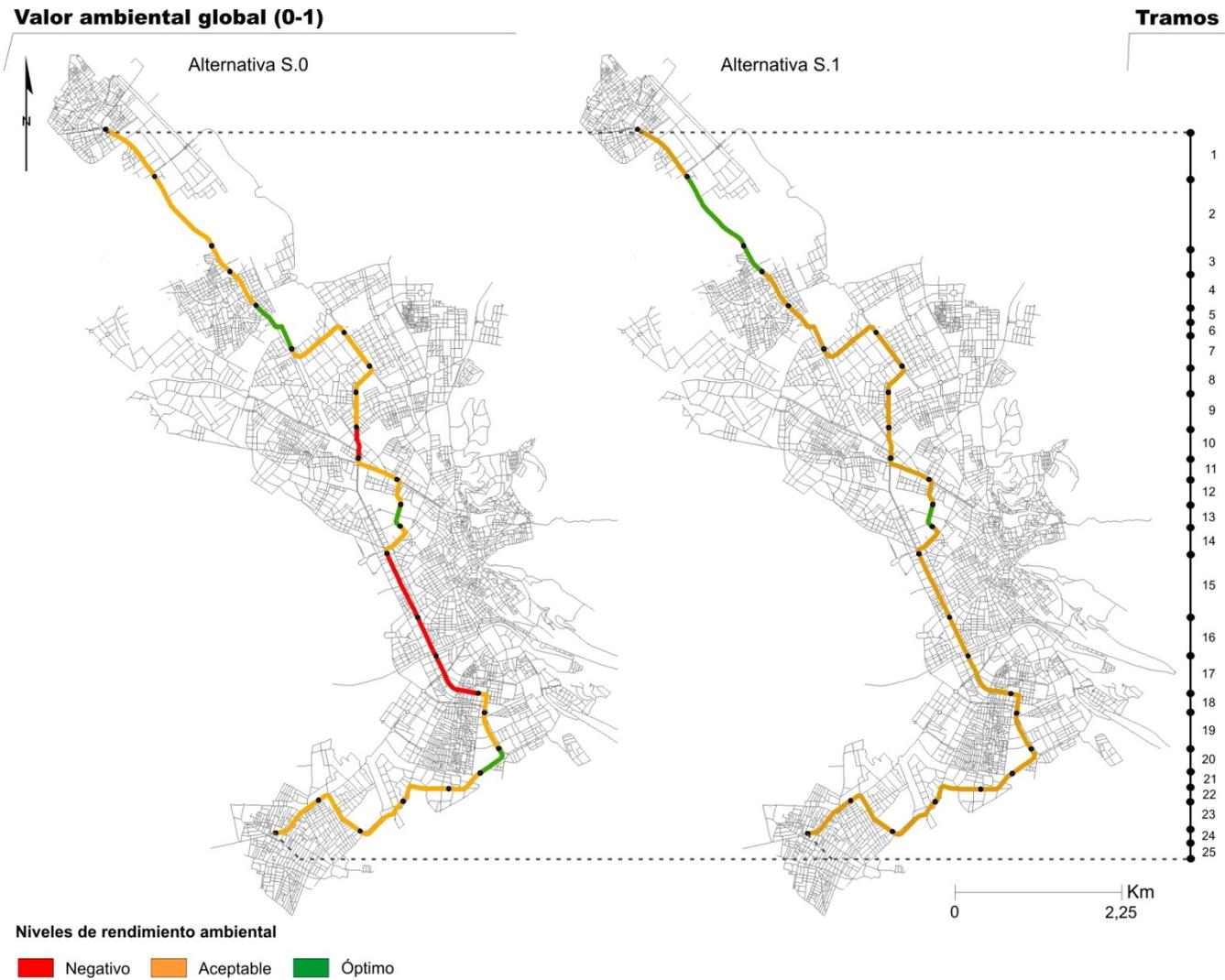


Figura 4.37. Niveles de rendimiento ambiental global. Alternativas S.0 y S.1. Fuente: elaboración propia

Junto con los tramos previamente citados, destacan también los cambios producidos en los tramos 2, 3 y 25, caracterizados por pasar de un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.0 a un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.1 aunque dentro del *intervalo de transición del UCC* (ver figura 4.38). La principal razón del cambio está orientada fundamentalmente por el aumento en la dotación de espacio público de estos lugares del corredor, lo que supone un aumento notable del rendimiento ambiental de indicadores como el coeficiente viario de reparto, sumado a las mejoras que experimentan también estos tramos en relación con la eficiencia energética de la movilidad urbana.

En lo que respecta a tramos cuyo resultado forme parte de los *intervalos de transición* de los umbrales ambientales, destaca el hecho de que solamente ocurre para el intervalo del UCC. La alternativa S.0 cuenta con tres tramos que forman parte del *intervalo de transición del UCC* (tramo 1, 20 y 21) y en ninguno de los tres casos, la propuesta realizada por la alternativa S.1 logra mejorar su rendimiento hasta un *nivel óptimo*. Por otro lado, la alternativa S.1, tal y como se ha mencionado con anterioridad, cuenta con tres tramos (tramos 2, 3 y 25) dentro del *intervalo de transición* del UCC y que en la alternativa S.0 tienen un *rendimiento aceptable* (ver figura 4.38).

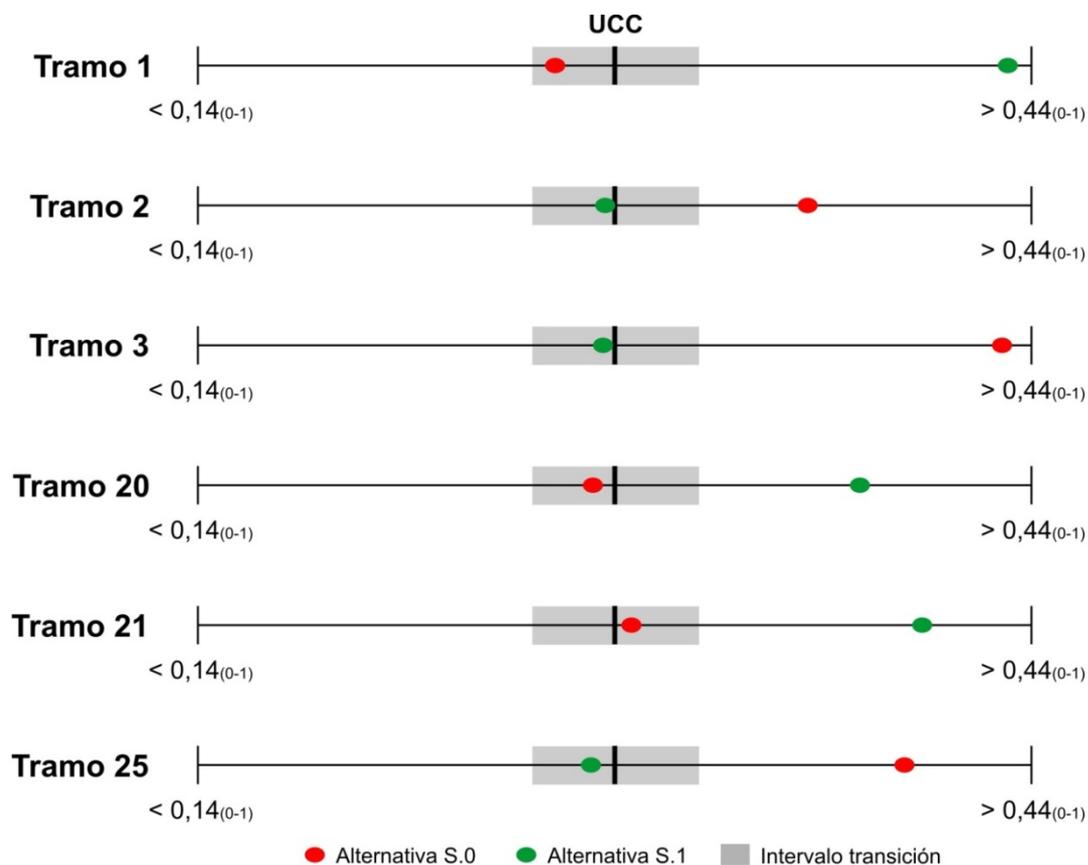


Figura 4.38. Tramos con su rendimiento ambiental global en *intervalos de transición*. Fuente: elaboración propia

4.5 Conclusiones

4.5.1 Sobre el método utilizado para estimar umbrales ambientales

- La existencia de regulación normativa (europea, estatal o regional) ha sido tomada como referencia en la adopción de umbrales ambientales para cada indicador que conforma el sistema de evaluación. En aquellos casos en los que no existen ningún tipo de regulación normativa (casos de la eficiencia superficial, efecto barrera y coeficiente viario de reparto), la estimación de tales umbrales se ha realizado en base al diseño de dos tramos tipo, uno de calidad (representativo del UCC) y otro de impacto (representativo del UCI).
- La ventaja de adoptar umbrales ambientales a partir de la regulación normativa, deriva de que son en la mayor parte de los casos, valores aceptados tanto por la comunidad científica como por la sociedad. Su desventaja principal reside en que no en todos los casos tienen la especificidad suficiente que requiere su aplicación a un caso de estudio concreto (véase el ejemplo de la eficiencia energética de la movilidad urbana). Recopilar los hitos más relevantes en el desarrollo de la normativa, es un paso fundamental para conocer los diferentes matices de los valores umbrales que finalmente se adoptan. En esta investigación, los indicadores cuyos umbrales ambientales se han estimado a partir de regulación normativa han sido: la eficiencia energética, la concentración de PM₁₀ y la emisión de ruido.
- En cuanto a los umbrales ambientales estimados a partir del diseño de dos tramos tipo, uno de calidad y otro de impacto (eficiencia superficial, efecto barrera y coeficiente viario de reparto), su principal ventaja reside en que son específicamente calculados para el caso de estudio donde se aplican, mientras que su mayor desventaja está vinculada a que no necesariamente tienen la aceptación de los distintos agentes implicados en la toma de decisiones. La dificultad principal para diseñar tales tramos tipo, está en la búsqueda de referencias bibliográficas que argumenten su adopción, así como, en la búsqueda de fuentes de información que contribuyan a su estimación final. Es necesario una exposición clara de las diferentes fuentes de información utilizadas y bibliografía consultada, para promover su idoneidad como valores de referencia en la comparación de alternativas.

Tabla 4.22. Síntesis de los umbrales ambientales estimados para el caso de estudio

INDICADOR	UCC	UCI
Eficiencia energética de la movilidad (Mj/viaj-Km)	0,57	1,37
Eficiencia superficial de la movilidad (m ² /viaj-Km)	0,58	0,80
Concentración de PM 10 (μgr/m ³)	20	30
Emisión de ruido (dBA)	55	65
Coefficiente viario de reparto (m ² calz/ m ² peat)	1,92	3,04
Efecto barrera (EB/m)	0,30	1,38

Fuente: elaboración propia

4.5.2 Sobre los umbrales ambientales en la comparación de alternativas

- Aplicar umbrales ambientales a las dos alternativas que componen el caso de estudio (S.0 y S.1), ha permitido profundizar en la comparación de éstas ya iniciada en el capítulo 3, aportando nuevos matices, tanto a nivel de lecturas parciales de cada indicador, como a través de su agregación en un valor sintético final. De esta forma, la definición de niveles de *rendimiento ambiental*, parece clave para obtener un conocimiento más profundo de la eficacia ambiental de cada uno de los cambios introducidos en el corredor por parte de las alternativas evaluadas.
- En lo referente a la eficiencia energética de la movilidad urbana, el análisis comparado permite identificar una mejora evidente del nivel de rendimiento ambiental del corredor en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0., como consecuencia fundamentalmente, del incremento de tramos del corredor con un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.1, así como una disminución de los tramos con *rendimiento negativo* en la alternativa S.0. En conexión con los resultados obtenidos en el capítulo 3, variaciones de viajeros-Km por encima del 30% en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, llevan siempre implícito una mejora de sus niveles de rendimiento ambiental.
- La eficiencia superficial de la movilidad urbana en la alternativa S.1 alcanza un rendimiento ambiental mayor que en la alternativa S.0. Esta situación es consecuencia del aumento de tramos en la alternativa S.1 con *rendimiento óptimo* (8 tramos en la alternativa S.0 y 15 tramos en la alternativa S.1), conjuntamente con una reducción similar de tramos con *rendimiento negativo* (15 tramos en la alternativa S.0 y 8 tramos en la alternativa S.1). Al igual que en el caso de la eficiencia energética de la movilidad urbana, los incrementos de los viajeros-Km por encima del 30% son indicativos de mejoras en el nivel de rendimiento ambiental. Además, se ha comprobado que en aquellos tramos donde se incrementa notablemente los niveles de coexistencia modal entre las alternativas evaluadas, también se producen aumentos de los niveles de rendimiento ambiental (ver ejemplo del tramo 20 entre las paradas Palacio Deportes y Los Cármenes).
- A diferencia del resto de indicadores, la concentración de PM₁₀ presenta un nivel de rendimiento ambiental muy bueno en la alternativa S.0, ya que 18 de los 25 tramos que conforman el corredor presentan un *rendimiento óptimo*. Esta situación se ve aún mejorada en la alternativa S.1, incrementando a 22 el número de tramos con *rendimiento óptimo*.
- La emisión de ruido es el indicador con peores resultados en lo que respecta a los niveles de rendimiento ambiental definidos. El análisis realizado deja ver que en la alternativa S.0 existen 23 tramos con rendimiento negativo, que se aumentan a 24 en el caso de la alternativa S.1. Las variaciones positivas que se registran a lo largo del corredor no son suficientes para inducir cambios positivos en el rendimiento ambiental de los diferentes tramos, pero sí para que un número importante de tramos

(tramos 1, 2, 9, 14, 15 y 16) que en la alternativa S.0 tiene un *rendimiento negativo*, en la alternativa S.1 pasan a formar parte del *intervalo de transición* del UCI.

- Existe una ligera disminución del nivel de rendimiento ambiental del corredor en lo que respecta al coeficiente viario de reparto, que se pone de manifiesto a través de la disminución de tramos con *rendimiento óptimo* desde un número de 12 en la alternativa S.0 a 10 en la alternativa S.1. Además, el coeficiente viario de reparto es uno de los indicadores que produce un mayor número de cambios de rendimiento ambiental entre los diferentes tramos que componen al corredor.
- En el caso del efecto barrera, existe una mejora del nivel de rendimiento ambiental en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, consecuencia de la reducción de tramos con *rendimiento negativo*, desde un número de 16 en la alternativa S.0 a 10 en la alternativa S.1. Las frecuencias modales de la alternativa S.1, conjuntamente con la dotación de espacio público y reducción de calzada, son los motivos fundamentales de tales cambios.
- Respecto del valor ambiental global, indicar que los niveles de rendimiento ambiental respecto del efecto barrera sufren una mejora importante en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, especialmente como consecuencia de la reducción de tramos con *rendimiento negativo*, que pasan de ser 16 en la alternativa S.0 a 10 en la alternativa S.1. Las frecuencias modales de la alternativa S.1, conjuntamente con la dotación de espacio público y reducción de calzada, parecen ser los motivos fundamentales de tales cambios.

4.5.3 *Sobre los intervalos de transición*

- Para cada umbral ambiental se ha considerado un *intervalo de transición* equivalente a $\pm 5\%$ de su valor, con el fin de graduar mejor los cambios de nivel de rendimiento que tienen lugar en los diferentes tramos del corredor.
- Su interpretación permite obtener matices sobre los cambios de nivel de rendimiento ambiental que experimentan los diferentes indicadores. Han sido especialmente relevantes en el caso del valor ambiental global (*intervalo de transición del UCC*) y de la emisión de ruido (*intervalo de transición del UCI*).
- La exploración metodológica y conceptual de *intervalos de transición* sobre los que estructurar los cambios de rendimiento entre las diferentes alternativas, constituye una de las principales líneas de progreso en la definición y aplicación de umbrales ambientales en la evaluación de la movilidad urbana.

CAPÍTULO 5
“ENTORNOS DE MOVILIDAD” Y RENDIMIENTO
AMBIENTAL DEL CORREDOR

CAPÍTULO 5. “ENTORNOS DE MOVILIDAD” Y RENDIMIENTO AMBIENTAL DEL CORREDOR

ÍNDICE

5.1	Introducción y objetivos	.....	234
5.2	Método para la identificación de “entornos de movilidad” y diagnóstico del rendimiento ambiental	.....	236
5.2.1	Método para la identificación de “ <i>entornos de movilidad</i>”	.....	236
5.2.1.1	Definición de componentes, indicadores y vectores de movilidad	.....	237
5.2.1.2	Matriz de interacción entre indicadores y vectores de movilidad	.....	240
5.2.1.3	Identificación de “ <i>entornos de movilidad</i>”	.....	240
5.2.2	Diagnóstico del rendimiento ambiental de cada “entorno de movilidad”	.....	242
5.3	“Entornos de movilidad” en el caso de estudio	.....	243
5.3.1	Estructura urbana del corredor	.....	243
5.3.1.1	Densidad residencial	.....	244
5.3.1.2	Diversidad e intensidad de actividades urbanas	.....	249
5.3.1.3	Cobertura temporal de las actividades urbanas	.....	258
5.3.2	Accesos y modos de viajes en el corredor	.....	265
5.3.2.1	Tráfico, transporte público y actividades urbanas	.....	265
5.3.2.2	El corredor y sus principales ejes transversales	.....	269
5.3.2.2.1	Influencia de los ejes transversales en el tráfico del corredor	.....	271
5.3.2.2.2	Ejes transversales como itinerarios de circulación	.....	281
5.3.2.2.3	Ejes transversales e identificación de “entornos de movilidad”	.....	289
5.3.3	“Entornos de movilidad” en el corredor	.....	290
5.3.3.1	Entorno de proximidad y alcance local	.....	293
5.3.3.2	Entorno de proximidad y distribución circulatoria	.....	294
5.3.3.3	Entorno de circulación motorizada	.....	295
5.3.3.4	Entorno de centralidad metropolitana	.....	296
5.3.3.5	Entorno orientado a estaciones de transporte público	.....	297
5.4	Rendimiento ambiental del corredor en los “entornos de movilidad”	.....	298
5.4.1	Rendimiento ambiental en el entorno de proximidad y alcance local	.....	301
5.4.2	Rendimiento ambiental en el entorno de proximidad y distribución circulatoria	.....	309
5.4.3	Rendimiento ambiental en el entorno de circulación motorizada	.....	317
5.4.4	Rendimiento ambiental en el entorno de centralidad	.....	324
			231

	metropolitana		
5.4.5	Rendimiento ambiental en el entorno orientado a estaciones de transporte público	.....	331
5.5	Conclusiones	.....	337
5.5.1	Sobre los “entornos de movilidad” y la comparación de alternativas	.....	337
5.5.2	Sobre el método para identificar “entornos de movilidad”	.....	338
5.5.3	Sobre los “entornos de movilidad” y el caso de estudio	.....	340

Resumen

Se define *entorno de movilidad* como aquella unidad espacial operativa para la evaluación ambiental de la movilidad urbana (ver fundamentos teóricos de la investigación). A lo largo del capítulo se propone un método para la identificación de *entornos de movilidad* en el corredor, sobre los que comparar las medidas de rendimiento ambiental desarrolladas en los capítulos 3 y 4.

El método parte de diferentes conceptos (*componentes de los entornos, indicadores y vectores de movilidad*) que interactúan de una forma secuencial hasta la identificación final de tales *entornos*.

Como resultado, son identificados 5 *entornos de movilidad* en el caso de estudio: (i) *Entorno de proximidad y alcance local*; (ii) *Entorno de proximidad y distribución circulatoria*; (iii) *Entorno de circulación motorizada*; (iv) *Entorno de centralidad metropolitana*; (v) *Entorno orientado a estaciones de transporte público*. Analizar las medidas de rendimiento ambiental en base a estas unidades espaciales, permitirá profundizar en la comparación de las alternativas S.0 y S.1, obteniendo nuevos matices relativos a la integración ambiental del corredor respecto de sus características urbanísticas y de la movilidad.

Abstract

The *mobility environment* concept is defined as a functional spatial unit for environmental evaluation (see theoretical foundation of research), This chapter proposes a method to identify *mobility environments* in the corridor, then, a comparison of environmental performance measures developed in chapter 3 y 4 will be done on these spatial units.

The method is based on different concepts (components of mobility environment, indicators and mobility vectors), which are interacting in a sequential process until the final definition of mobility environments.

The results obtained have permitted to identify five mobility environments in the study-case (i) proximity and local dimension environment; (ii) proximity and transit distribution environment; (iii) intermodal stations environment; (iv) motorized transit environment; (v) metropolitan centrality environment.

5.1 Introducción y objetivos

Entorno de movilidad es un concepto propuesto en el apartado 1.1.3 de los fundamentos teóricos de la investigación. Se define como aquella unidad espacial operativa para la evaluación ambiental de la movilidad urbana, resultante de una valoración integrada de factores de la estructura urbana y del modo de viaje. A través del concepto de *entorno de movilidad* se trata de afrontar uno de los objetivos principales de la investigación, basado en la necesidad de orientar la evaluación ambiental de la movilidad urbana desde una perspectiva integrada entre usos del suelo y transporte (Givoni y Banister, 2010).

Identificar *entornos de movilidad* y ponerlos en relación con medidas de rendimiento ambiental como las desarrolladas en los capítulos 3 y 4, permite extender el análisis comparativo de alternativas en el corredor desde un enfoque “canal-caudal” a un enfoque “lugar-acceso”, donde el corredor no solo sea percibido y evaluado como un eje de movilidad donde coexisten e interactúan diferentes modos de transporte, sino que también, como aquel eje urbano/metropolitano que permite al ciudadano acceder a la realización de funciones urbanas diversas, tales como: vida familiar, trabajo, ocio, educación, sanidad, etc. (ver figura 5.1).



Figura 5.1. El corredor como “canal-caudal” y como “lugar-acceso”. Fuente: elaboración propia

Las aportaciones derivadas de poner en relación *entornos de movilidad* y rendimiento ambiental serían:

- Enriquecer la evaluación de alternativas, cruzando características de la identidad y funcionamiento urbano de cada lugar con el rendimiento ambiental de su movilidad.
- Obtener conclusiones sobre qué aspectos ambientales de la movilidad urbana son más relevantes en un contexto urbano determinado.
- Analizar la adecuación ambiental de cada alternativa evaluada a las características del espacio urbano donde se localiza

El capítulo tiene cuatro partes. La primera parte se ocupa de explicar el método propuesto para la identificación de *entornos de movilidad* y su puesta en relación con medidas de rendimiento ambiental. La segunda parte aborda la identificación de *entornos de movilidad* en el caso de estudio. La tercera parte profundiza en la evaluación comparada de alternativas del corredor en función de cada *entorno de movilidad*, tomando como referencia las medidas de rendimiento ambiental desarrolladas en los capítulos 3 y 4. Finalmente, la cuarta y última parte expone las principales conclusiones obtenidas.

Los objetivos a alcanzar son:

- Proponer un método para la identificación y definición de *entornos de movilidad*.
- Aplicar el método propuesto al caso de estudio.
- Profundizar en la evaluación comparada de alternativas a partir de poner en relación *entorno de movilidad* y rendimiento ambiental del corredor.

5.2 Método para la identificación de “entornos de movilidad” y diagnóstico del rendimiento ambiental

El método tiene dos partes: (i) Identificación de *entornos de movilidad*; (ii) Diagnóstico del rendimiento ambiental de cada uno de los *entornos* identificados. A continuación, se detallará cada una de ellas.

5.2.1. Método para la identificación de “entornos de movilidad”

El método se basa en diferentes conceptos necesarios de definir y acotar, antes de entrar a explicar paso a paso cada una de las fases que lo conforman. Tales conceptos son:

- *Componentes*: bloques sobre los que se identifican y definen los *entornos de movilidad*. En este caso, tales bloques son la estructura urbana y los accesos y modos de viaje en el corredor.
- *Indicadores*: miden diferentes dimensiones de cada uno de los componentes que integran los *entornos de movilidad*.
- *Vectores de movilidad*: aspectos relacionados con la movilidad del corredor, sobre las que interpretar los resultados de cada indicador como paso previo a la identificación de *entornos de movilidad*.

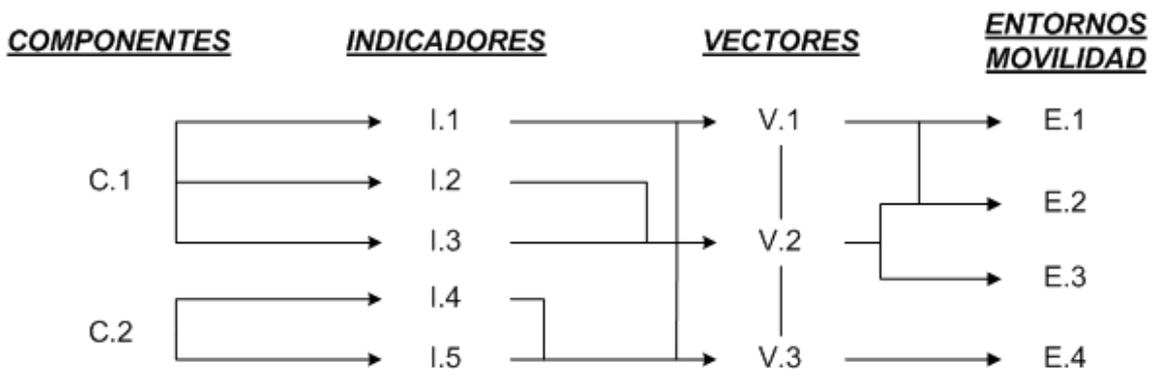


Figura 5.2. Diagrama de flujo para la identificación de *entornos de movilidad*. Fuente: elaboración propia

El método se compone de 3 fases: (i) Definición de *componentes*, *indicadores* y *vectores de movilidad* para el caso de estudio; (ii) Matriz de interacción entre *indicadores* y *vectores de movilidad*; (iii) Definición de *entornos de movilidad*.

5.2.1.1. Definición de componentes, indicadores y vectores de movilidad

Se consideran como componentes para la definición de *entornos de* movilidad, tanto la estructura urbana como los accesos y modos de viaje en el corredor. En base a los dos *componentes* señalados, a continuación se exponen diferentes dimensiones de éstos sobre los que proponer *indicadores* específicos.

Respecto de la estructura urbana, tales dimensiones son:

- *Densidad residencial*: como un factor clave a la hora de promover una mayor complejidad urbana que pueda afectar a la necesidad de realizar viajes motorizados.
- *Diversidad e intensidad de actividades urbanas*: analizando la capacidad de los tramos del corredor para ofrecer un abanico de diferentes actividades a sus residentes.
- *Cobertura temporal de actividades*: analizando el nivel de actividad de cada tramo del corredor en distintas franjas horarias de un mismo día.

Respecto de los accesos y modos de viajes en el corredor, tales dimensiones son:

- *Niveles de circulación motorizada*, tanto de automóviles como de autobuses públicos en relación con la intensidad de actividades urbanas del corredor.
- *Influencia de ejes transversales*, relacionada con la capacidad de articulación viaria del corredor y sus principales accesos (motorizados y no motorizados).

La propuesta final de *indicadores* para cada una de las dimensiones descritas, se encuentra mediatizada por la disponibilidad de fuentes de información y las características particulares del caso de estudio. La tabla 5.1 recoge los *indicadores* propuestos en cada caso.

Tabla 5.1. Indicadores para la identificación de *entornos de movilidad*

Componentes		Indicadores
Estructura urbana	Densidad residencial	-Nº Viviendas/Ha
	Diversidad e intensidad de actividades urbanas	-Intensidad de actividades (Nº Actividades urbanas/1000 viviendas) -Tipo de actividad dominante (% actividades diferentes)
	Cobertura temporal actividades urbanas	-Cobertura temporal (% actividades urbanas por franja horaria)
Acceso y modos de viaje	Niveles de circulación motorizada	-Circulación de vehículos privados por actividad urbana (Nº veh/act.) -Circulación de autobuses públicos por actividad urbana (Nº Bus/act.)
	Influencia de ejes transversales	-Influencia de las transversales en la circulación motorizada del corredor -Influencia de las transversales como itinerarios no motorizados (ejes de espacio público y rutas comerciales)

Fuente: elaboración propia

Los indicadores seleccionados se aplicarán en un entorno urbano del corredor de 250 m. La figura 5.3 muestra el ámbito operativo de trabajo en este capítulo.

De acuerdo al esquema metodológico planteado (ver figura 5.2), los resultados de estos indicadores serán analizados sobre tres aspectos relacionadas con la movilidad del caso de estudio y que previamente hemos denominado *vectores de movilidad*. Tales *vectores son*:

- *Dimensión local del espacio urbano*: basada en la idea de identificar lugares donde puede predominar una movilidad por proximidad que reduzca la dependencia de modos motorizados.
- *Especialización urbana*: centrado en la identificación de espacios monofuncionales con alta demanda de movilidad motorizada y concentrada en determinadas franjas horarias del día.
- *Transito urbano*: valorando la capacidad del corredor como eje de circulación e itinerario de paso para sus usuarios, especialmente de modos motorizados.



Figura 5.3. Ámbito de trabajo para la identificación de entornos de movilidad. Fuente: elaboración propia

5.2.1.2. Matriz de interacción entre indicadores y vectores de movilidad

Para sistematizar la lectura de los resultados obtenidos en cada *indicador*, de cara a la posterior identificación de *entornos de movilidad*, este apartado recoge una matriz de interacción o influencia entre los *indicadores* y *vectores de movilidad* definidos.

Tabla 5.2. Matriz de interacción entre *indicadores* y *vectores de movilidad* en el caso de estudio

INDICADORES	VECTORES		
	V.1	V.2	V.3
I.1	(+)		(-)
I.2	(+)	(-)	(-)
I.3	(+)	(-)	(-)
I.4	(+)		(-)
I.5		(+)	(+)
I.6		(+)	(+)
I.7		(+)	
I.8	(+)		

Indicadores:

I.1. Viviendas/Ha
I.2. Intensidad de actividades (Actividades urbanas/1000 viviendas)
I.3. Tipo de actividad dominante (% act.)
I.4. Cobertura temporal de actividades urbanas (% act. por franja horaria)
I.5. Vehículos privados/actividad urbana
I.6. Autobuses públicos/actividad urbana
I.7. Eje transversal y circulación motorizada
I.8. Eje transversal y circulación no motorizada

Vectores de movilidad:

V.1. Dimensión local del espacio urbano
V.2. Tránsito urbano
V.3. Especialización urbana

Influencia de los indicadores sobre los vectores de movilidad:

(+) Directa, incrementos del indicador intensifica ese vector de movilidad y viceversa.
(-) Indirecta, incrementos del indicador disminuyen la intensidad del vector de movilidad y viceversa

Fuente: elaboración propia

5.2.1.3. Identificación de “entornos de movilidad”

A partir de los resultados obtenidos para cada *indicador* respecto de los *vectores de movilidad*, el último paso implica la identificación de *entornos de movilidad* a lo largo del corredor. La figura 5.4 sintetiza el método propuesto.

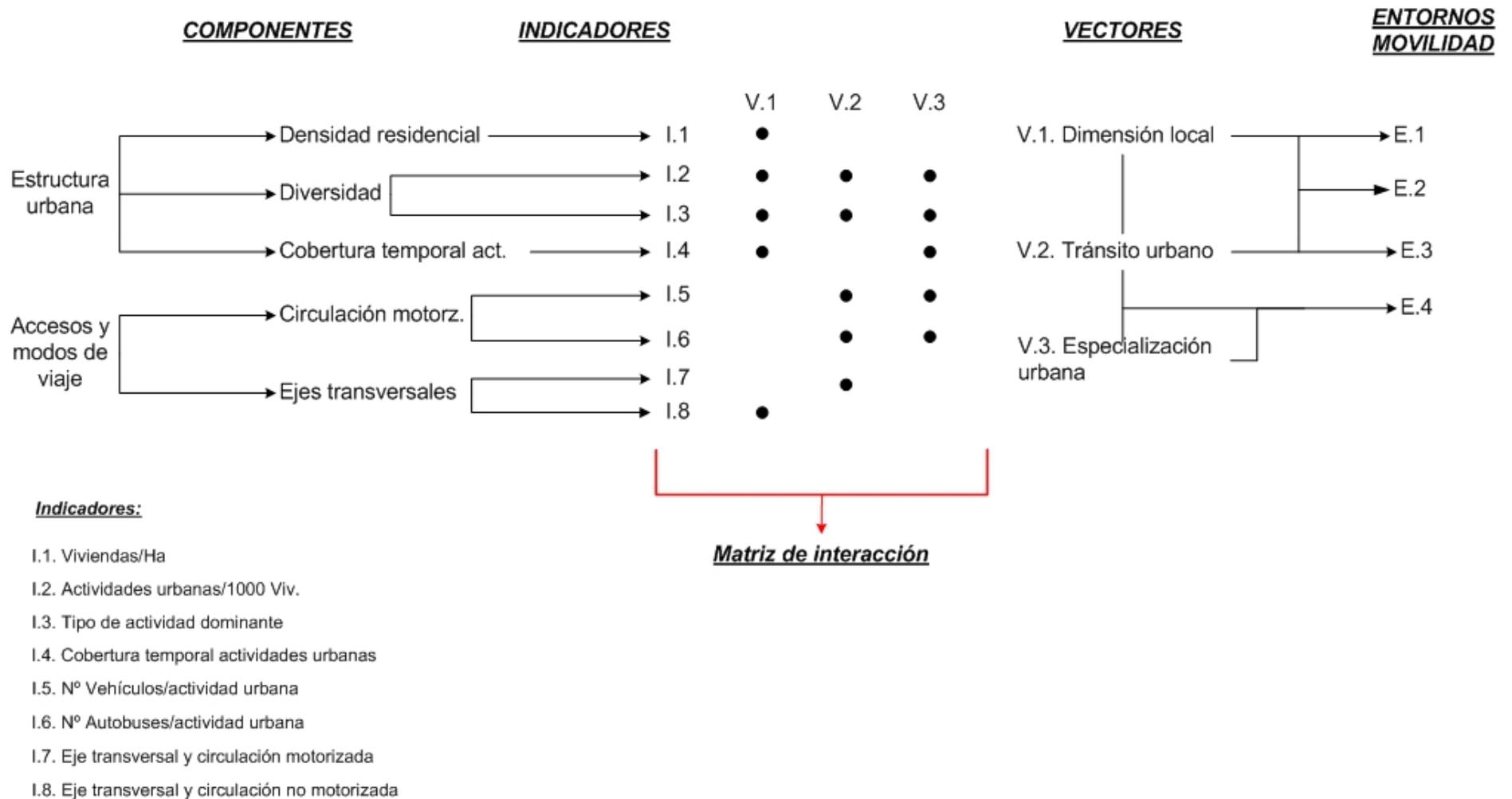


Figura 5.4. Esquema del método propuesto para la identificación de *entornos de movilidad* en el caso de estudio. Fuente: elaboración propia

5.2.2. Diagnóstico del rendimiento ambiental de cada “entorno de movilidad”

Una vez identificados los diferentes *entornos de movilidad* del corredor, se procederá a diagnosticar cada uno de ellos desde el punto de vista de su rendimiento ambiental. El procedimiento implica las siguientes tres fases (ver figura 5.5):

- *Identificar demandas ambientales* de cada *entorno de movilidad* en base a sus características y papel dentro del corredor.
- *Seleccionar indicadores de rendimiento ambiental* para cada *entorno de movilidad*, a partir de los indicadores y procedimientos desarrolladas en los capítulos 3 y 4.
- *Evaluación comparada de alternativas* para cada *entorno de movilidad*

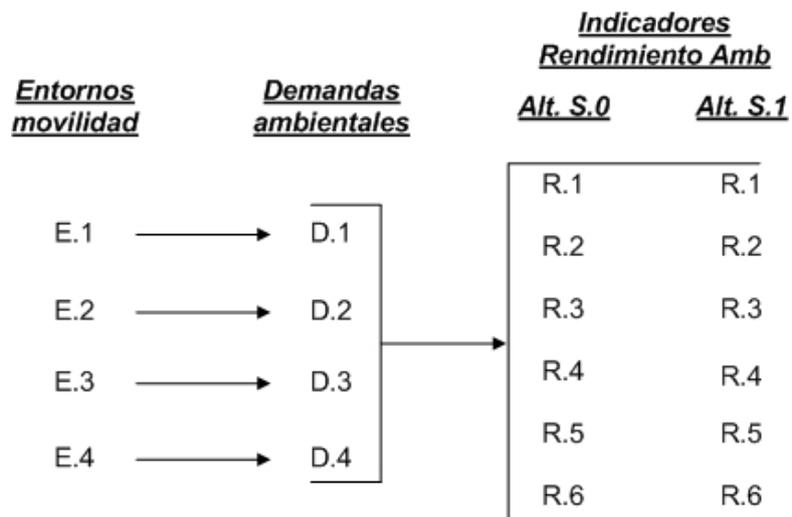


Figura 5.5. Esquema metodológico para el diagnóstico del rendimiento ambiental de cada *entorno de movilidad*. Fuente: elaboración propia

5.3 “Entornos de movilidad” en el caso de estudio

Extender la evaluación comparada de alternativas en el corredor al entorno urbano circundante a éste, es importante de cara a orientar el *modelo de umbrales ambientales* a una dimensión integrada entre usos del suelo y transporte, a la vez que permite enriquecer la propia comparación de alternativas.

La idea central de esta cuestión, reside en el hecho de que de cada *entorno de movilidad* se derivan demandas ambientales particulares, por ejemplo, a través de una mayor necesidad de promocionar espacios verdes y/o peatonales en aquellos *entornos* con una elevada movilidad local, o bien, acentuando el tipo de intervención en la reducción del uso de energía y otros recursos en aquellos *entornos* cuya función principal este destinada a la circulación y distribución de transporte público y tráfico privado desde unos lugares a otros, bien entre el propio corredor o entre el corredor y el resto de la ciudad.

Este apartado tiene tres partes esenciales, las dos primeras analizan los *componentes* descritos para la definición de *entornos de movilidad*, que son: la estructura urbana y los accesos y modos de viaje (ver apartado 5.2.1.1), para en una última parte definir e identificar a nivel espacial tales *entornos de movilidad*.

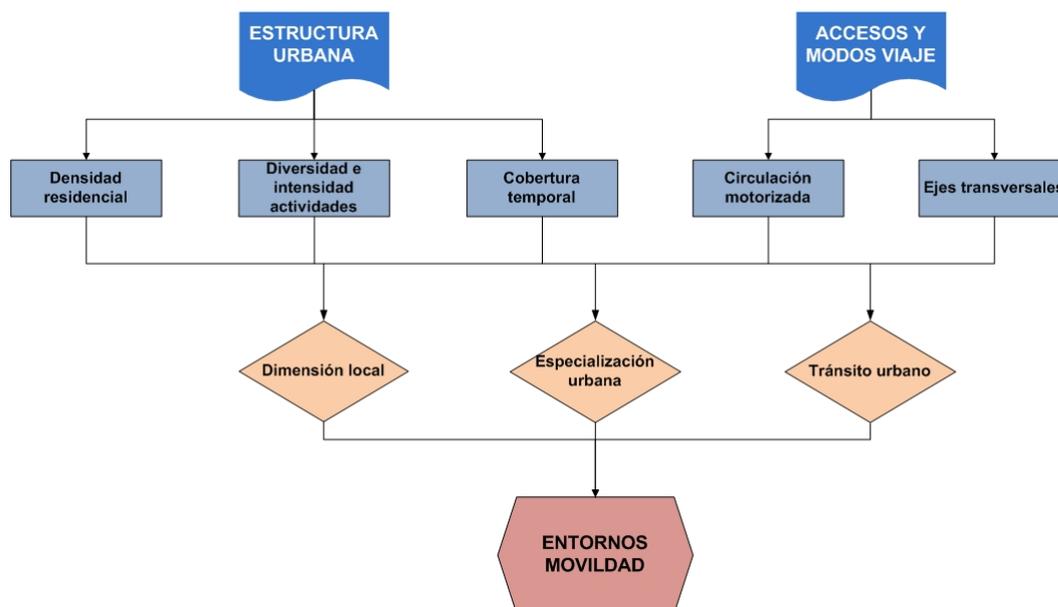


Figura 5.6. Esquema de los elementos implicados en la definición de *entornos de movilidad*.

Fuente: elaboración propia

5.3.1 Estructura urbana del corredor

La estructura urbana es un aspecto esencial a la hora de entender las características de la movilidad. Actúa como matriz del sistema urbano, por lo que su mayor o menor complejidad puede resultar determinante a la hora de comprobar si el tejido urbano es más o menos vulnerable frente a determinados tipos de movilidad, por ejemplo, respecto al vehículo privado, sobre la viabilidad de determinadas ofertas de transporte público e integración modal, etc. De acuerdo al apartado metodológico, se estudiarán tres dimensiones de la

estructura urbana: (i) Densidad residencial; (ii) Diversidad e intensidad de actividades urbanas; (iii) Cobertura temporal de actividades urbanas.

5.3.1.1 Densidad residencial

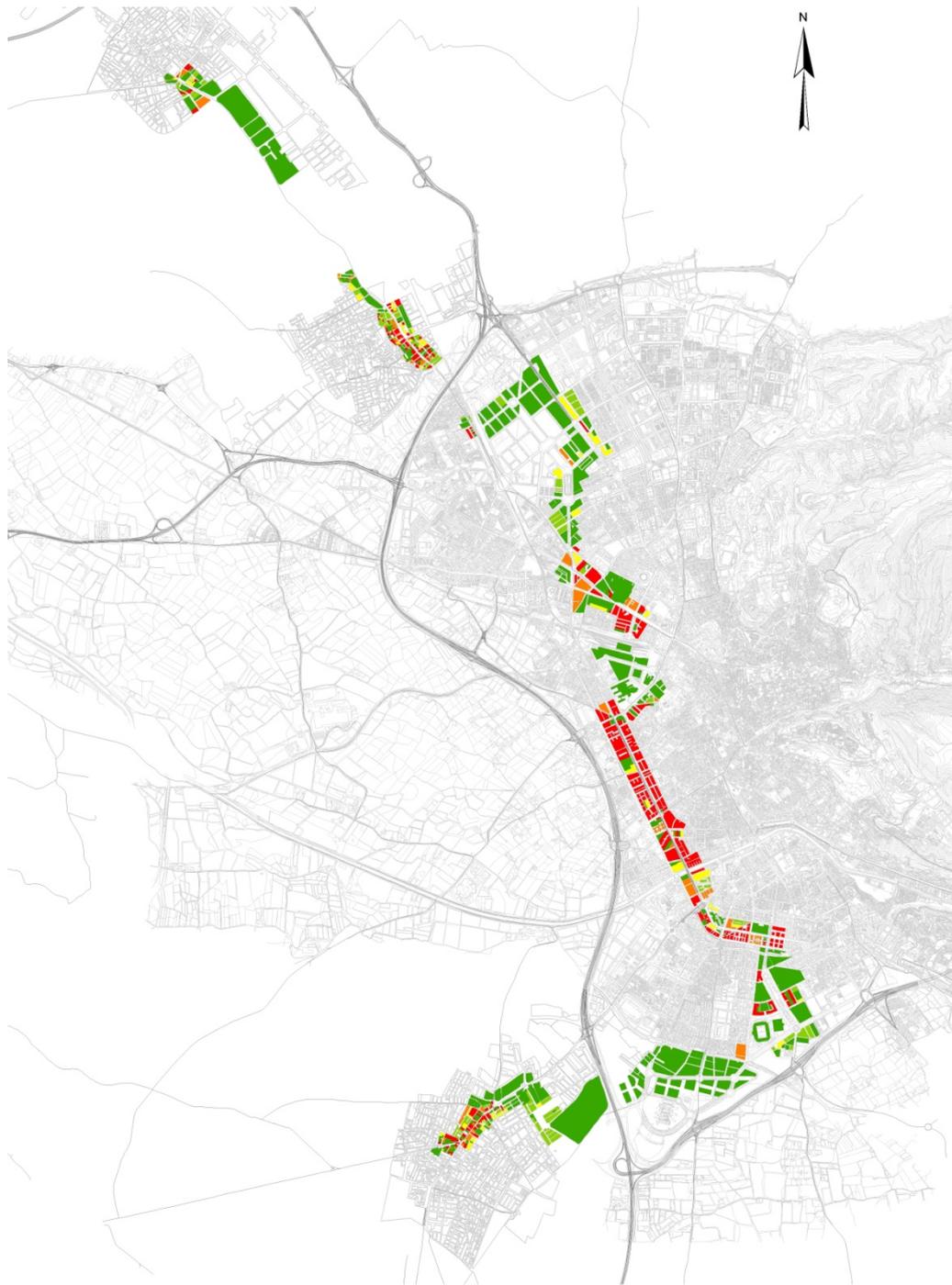
La densidad residencial es un parámetro esencial a la hora de tener una primera aproximación sobre las características urbanas del entorno del corredor. Respecto a su relación con los denominados *vectores de movilidad* (dimensión local del medio urbano, especialización urbana y tránsito urbano), se podría decir que altas densidades residenciales informan sobre una más intensa dimensión local del medio urbano, consecuencia de que puede vivir más población en un mismo espacio, por lo que las oportunidades para alcanzar un alto nivel de complejidad son mayores y, consecuentemente, la necesidad de viajar podría estar más reducida que en otros lugares que no tengan estas características. Por el contrario, bajas densidades residenciales pueden dar lugar a un cierto grado de especialización urbana de tipo residencial, donde la complejidad sea menor, lo que puede suponer un mayor número de viajes diarios junto a un incremento de la dependencia de modos motorizados por parte de la población residente.

Los resultados promedio de densidad residencial para cada tramo del corredor pueden ser consultados en la tabla 5.3 y figura 5.7.

Tabla 5.3. Densidad residencial en cada tramo del corredor

Tramos	Densidad residencial (Viv/Ha)	Tramos	Densidad residencial (Viv/Ha)
Tramo 1	26,56	Tramo 14	86,63
Tramo 2	1,57	Tramo 15	342,94
Tramo 3	22,86	Tramo 16	238,95
Tramo 4	131,82	Tramo 17	205,54
Tramo 5	97,46	Tramo 18	255,71
Tramo 6	52,43	Tramo 19	103,53
Tramo 7	42,62	Tramo 20	29,25
Tramo 8	46,71	Tramo 21	38,83
Tramo 9	34,43	Tramo 22	6,42
Tramo 10	133,28	Tramo 23	0,74
Tramo 11	97,97	Tramo 24	17,50
Tramo 12	164,17	Tramo 15	94,96
Tramo 13	8,37		

Fuente: elaboración propia a partir de la Dirección General de Catastro (2010)



Densidad residencial (Viv/Ha) por manzana



0 500 1.000 2.000 m

Figura 5.7. Densidad residencial en el corredor. Fuente: elaboración propia a partir de la Dirección General de Catastro (2010).

La interpretación de los resultados obtenidos parte de diferentes estudios que analizan el efecto de la densidad residencial como factor de éxito en la implementación de sistemas de transporte público (Hass-Klau y Crampton, 2005) (Vuchic, 2005) (FDT, 2008). En base a lo anterior, se establecerá como nivel umbral para una viabilidad completa del sistema de metro ligero densidades de 80 Viv/Ha, a la vez que una viabilidad sujeta a determinadas condiciones (de intermodalidad, de restricción de tráfico, de tarificación especial, etc.) aquellas densidades residenciales entre 50 y 80 Viv/Ha. Del mismo modo, los trabajos consultados desaconsejan la implementación de sistemas de metro ligero en densidades residenciales por debajo de 50 Viv/Ha (ver figura 5.8). No obstante, conviene aclarar que en muchos casos, el éxito o fracaso en la implementación de un sistema de transporte público está sujeto a cuestiones no directamente relacionadas con la estructura urbana, como pueden ser: preferencias personales, disponibilidad económica, etc. (Hass-Klau y Crampton, 2005).

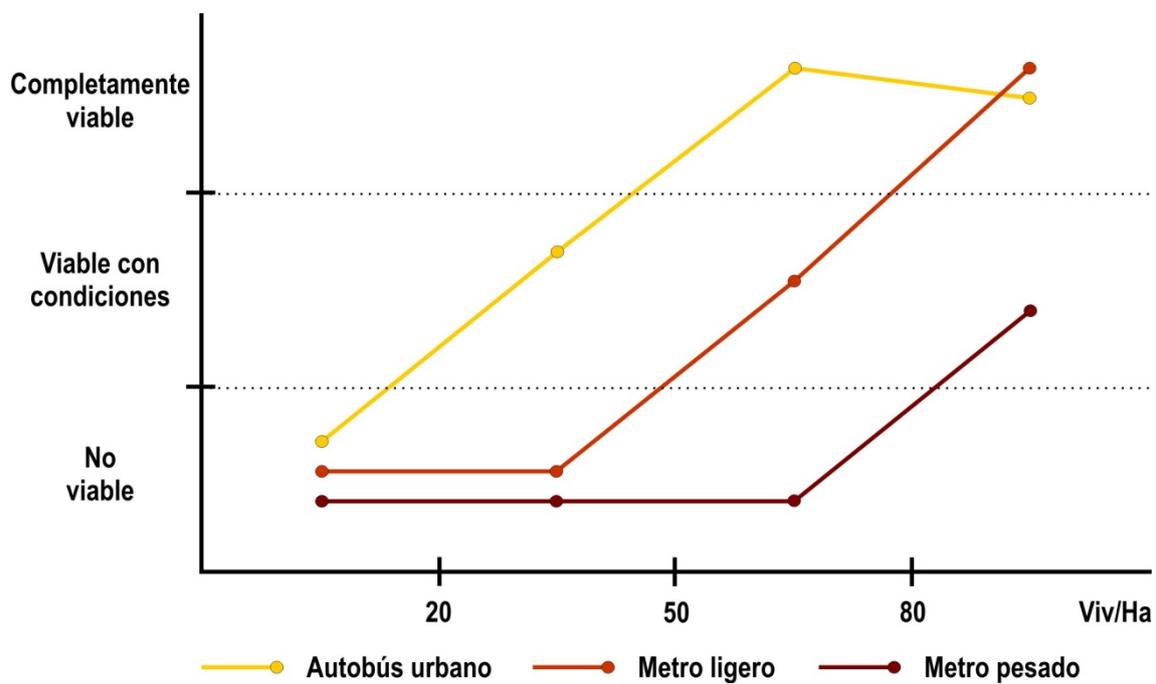


Figura 5.8. Densidad residencial y viabilidad modal. Fuente: elaboración propia a partir de Hass-Klau y Crampton (2005); Vuchic (2005); FDT (2008)

Tomando como referencia los intervalos de densidad residencial previamente comentados, destacan como sectores del corredor con altas densidades residenciales (> 80 Viv/Ha), los tramos 4 y 5 con un valor promedio de 114,63 Viv/Ha, los tramos 10, 11 y 12 (138,80 Viv/Ha), los tramos del 15 al 18 (260,78 Viv/Ha), junto con el tramo 25 (94,96 Viv/Ha). El tramo 6 entre las paradas Cerrillo Maracena y Ctra. Jaén, sería el único tramo del corredor con niveles de densidad residencial oscilante entre las 50 y 80 Viv/Ha, concretamente con un valor promedio de 52 Viv/Ha.

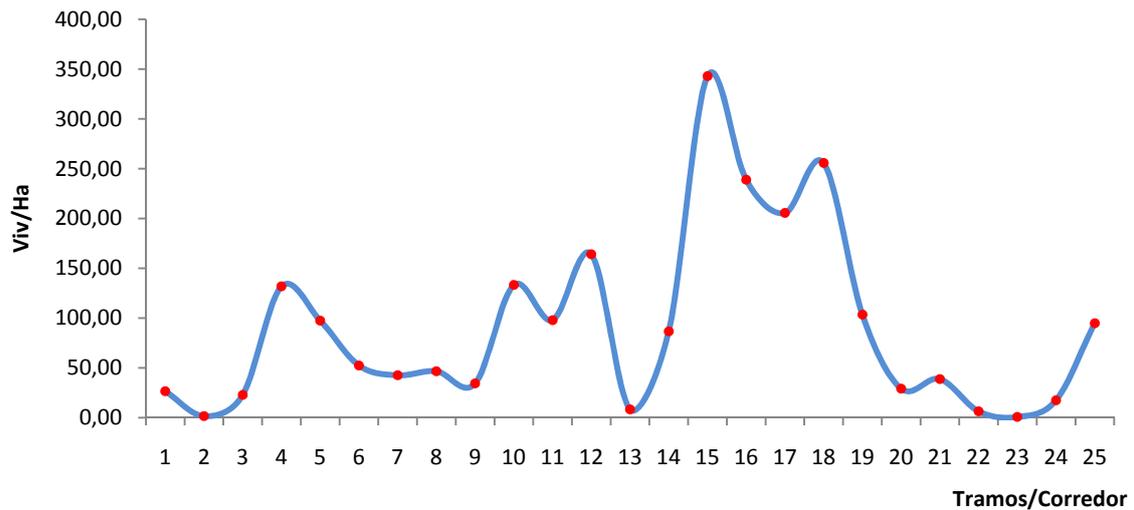


Figura 5.9. Evolución de la densidad residencial en el corredor. Fuente: elaboración propia a partir de la Dirección General de Catastro (2010)

El resto de tramos del corredor tienen densidades residenciales por debajo de 50 Viv/Ha., específicamente, los tramos 7 y 8 (47,25 Viv/Ha), tramos 20 y 21 (34,03 Viv/Ha) y, finalmente, el tramo 24 con densidades residenciales de 17,50 Viv/Ha.

Además, existen determinados tramos del corredor que prácticamente carecen de funciones residenciales, concretamente, el tramo 2, donde actualmente se ubica el polígono industrial de Juncaril, el tramo 13 ocupado por el Campus Universitario de Fuentenueva, junto con los tramos 22 y 23 relativos al Campus Tecnológico de la Salud.

La figura 5.10 representa a nivel espacial los valores promedios de densidad residencial para cada tramo del corredor, conjuntamente con algunos tramos representativos de las situaciones expuestas.

A modo de síntesis y de cara a la posterior definición de “entornos de movilidad”, los resultados obtenidos muestran que la mitad de tramos del corredor (12 de 25) poseen densidades residenciales por encima de las 80 Viv/Ha, lo que es muy importante de cara a fortalecer una dimensión más local del medio urbano, donde el concepto de movilidad por proximidad puede ser más relevante, a la vez que la implantación de un sistema de transporte público como el metro ligero podría tener una mayor garantía de éxito. Estos 12 tramos, con excepción del municipio de Albolote, se localizan en el centro de los 4 municipios que integran el corredor, siendo significativo el ejemplo de los tramos 4 y 5 en Maracena, tramos 15, 16 y 17 en Granada o el tramo 25 en Armilla. Por el contrario, la otra mitad de tramos (12 de 25 tramos) tienen densidades por debajo de las 50 Viv/Ha, de los cuáles, 4 tramos (tramos 2, 13, 22 y 23) carecen de funciones residenciales propiamente.

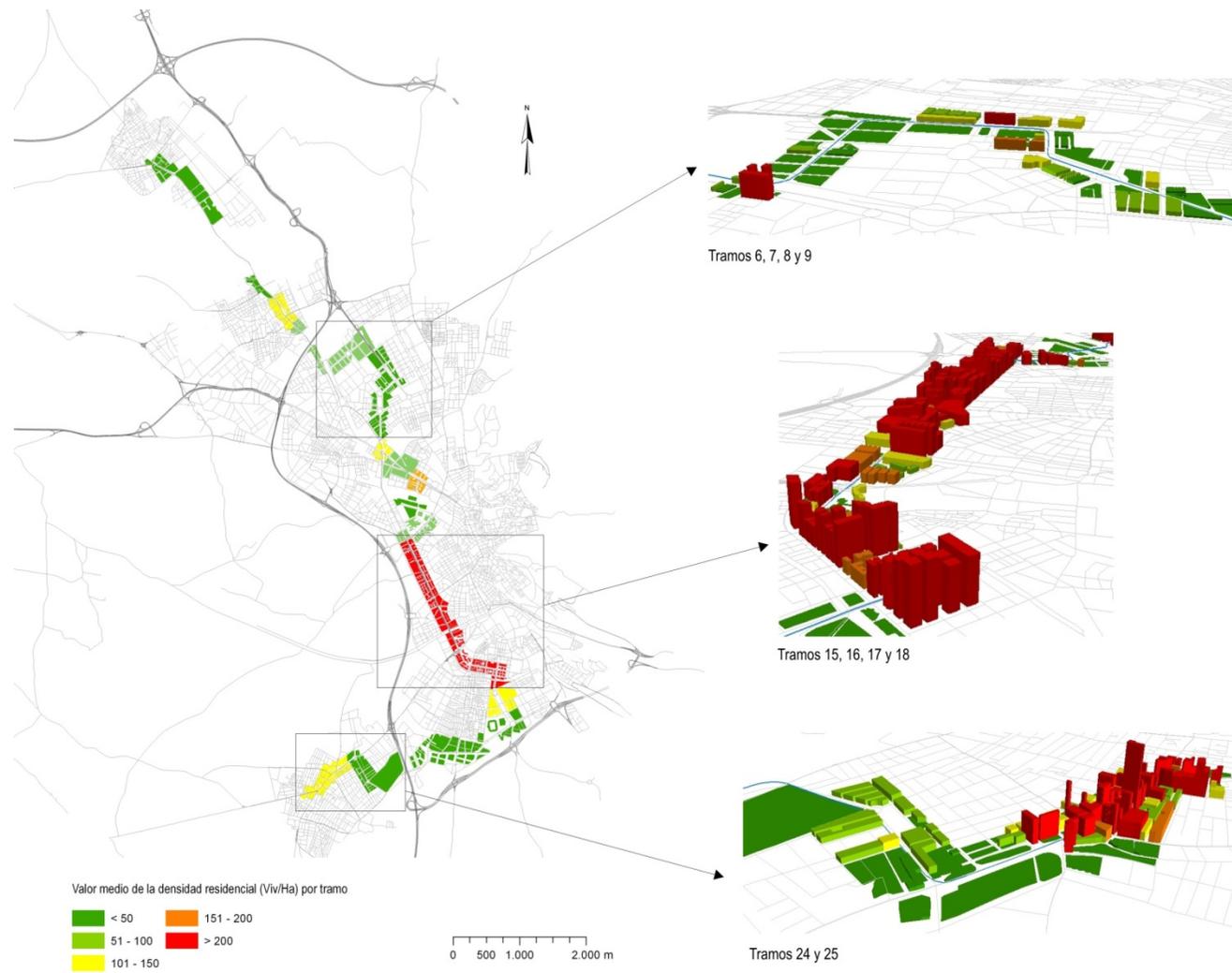


Figura 5.10. Tramos del corredor y densidad residencial. Fuente: elaboración propia a partir de la Dirección General de Catastro (2010)

5.3.1.2 Diversidad e Intensidad de actividades urbanas

Junto con la densidad residencial, el tipo de actividades que se desarrollan en el medio urbano es un factor esencial para determinar su grado de complejidad y, en consecuencia, la mayor o menor dependencia de la población residente a modos de transporte motorizados.

Simplificando, cuanto mayor sea el número de actividades urbanas diferentes en un mismo espacio, aumenta su complejidad y la población residente puede satisfacer más necesidades en el lugar donde habita, reforzando la dimensión local de ese espacio de cara a su movilidad. Por el contrario, espacios residenciales con bajo nivel de actividades urbanas no residenciales, podría tener como resultado una elevada dependencia de la población residente a modos motorizados de transporte, fomentando a su vez, un alto grado de especialización urbana monofuncional de tipo residencial.

En primer lugar, se medirá el nivel de intensidad de actividades urbanas respecto de las funciones residenciales del corredor (en adelante intensidad de actividades). En segundo lugar, se estudiará qué tipo de actividad es dominante sobre el resto y cómo esta cuestión puede influir en la definición final de *entornos de movilidad*.

El número de locales con actividad urbana no residencial por cada 1000 viviendas (en adelante actividades/1000viviendas), es el indicador utilizado para medir la intensidad de actividades de cada tramo.

La tabla 5.4 recoge los resultados promedio de este indicador para los diferentes tramos del corredor, mientras que la figura 5.11 muestra una comparación de locales con actividad no residencial y número de viviendas por manzana.

Tabla 5.4. Intensidad de actividades urbanas en el corredor

Tramos	Act./1000 Viv	Tramos	Act./1000 Viv
Tramo 1	149,70	Tramo 14	238,66
Tramo 2	812,50	Tramo 15	164,85
Tramo 3	130,84	Tramo 16	145,39
Tramo 4	139,05	Tramo 17	122,14
Tramo 5	142,50	Tramo 18	109,86
Tramo 6	24,39	Tramo 19	138,94
Tramo 7	52,81	Tramo 20	67,51
Tramo 8	18,62	Tramo 21	63,35
Tramo 9	61,61	Tramo 22	387,10
Tramo 10	120,09	Tramo 23	1230,77
Tramo 11	188,70	Tramo 24	19,37
Tramo 12	240,45	Tramo 15	115,69
Tramo 13	333,33		

Fuente: elaboración propia a partir de trabajo de campo (2010) y Dirección General de Catastro (2010)

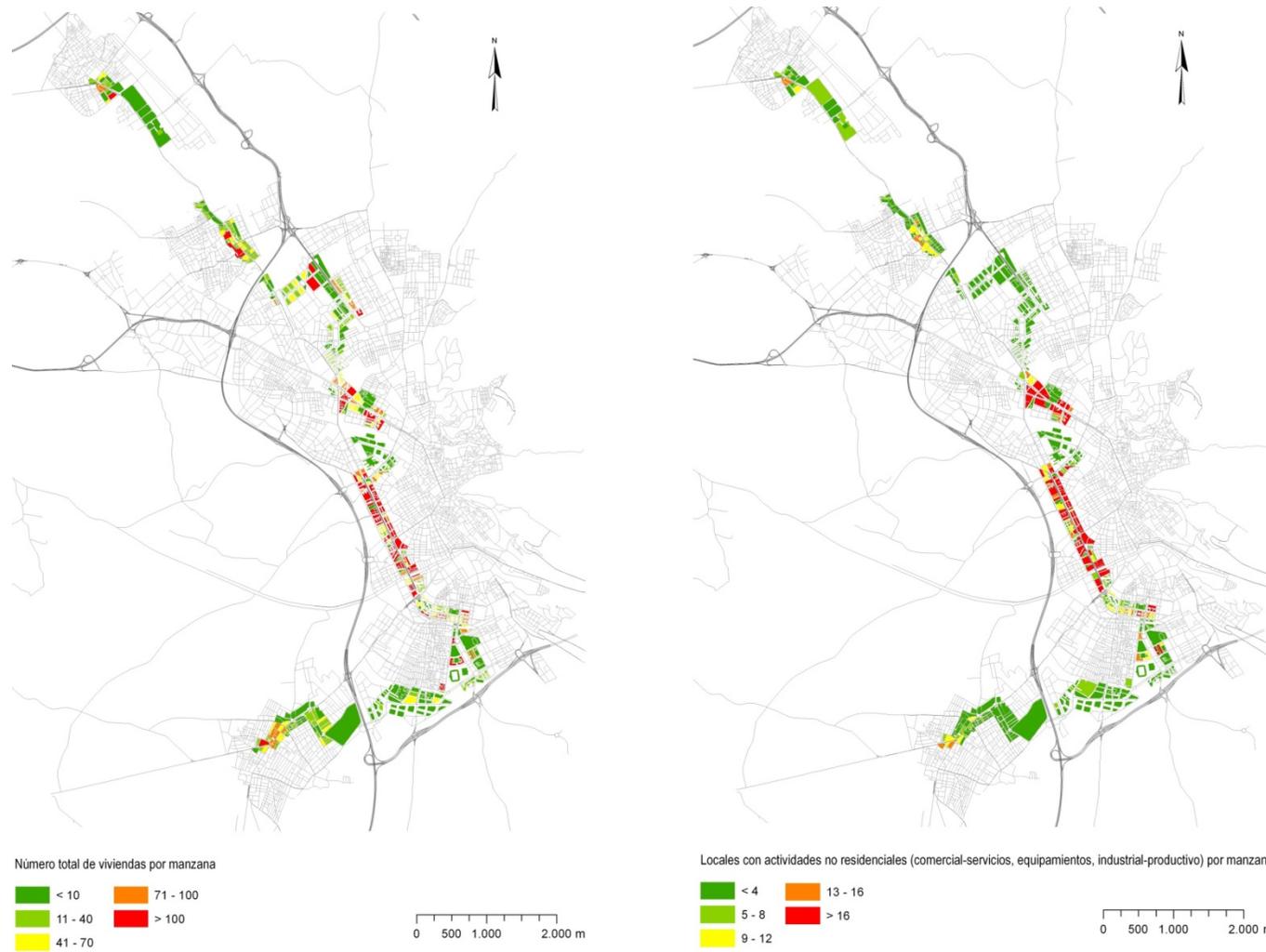


Figura 5.11. Residencia (Nº vivienda) y actividades urbanas (Nº locales) en el corredor. Fuente: elaboración propia a partir de trabajo de campo (2010) y Dirección General de Catastro (2010)

Los resultados obtenidos muestran cuatro grupos de tramos con características comunes en el corredor. En primer lugar, destacan aquellos tramos que presentan valores superiores a las 300 act/1000viviendas. debido a que son tramos que prácticamente carecen de funciones residenciales, tal y como fue descrito en el apartado anterior. Estos tramos son el número 2, 13, 22 y 23.

Dejando al margen estos tramos, ya que serán estudiados con detalle a continuación, conviene destacar un segundo conjunto de tramos, con valores que están en torno y/o superan las 100 act/1000viviendas, convirtiéndose en los lugares del corredor con funciones residencial que tienen una mayor intensidad de actividades. Dichos valores están presentes en diferentes sectores del corredor. En la zona norte en los tramos 1, 3, 4 y 5 (140,52 act./1000 Viv en promedio), en la parte central del corredor en los tramos 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19 con valores promedio de 163,23 act/1000 Viv. y, finalmente, en el tramo 25 en el municipio de Armilla, con valores promedio de 115,69 act/1000 Viv. Salvo alguna excepción como la del tramo 1, los tramos con mayor intensidad de actividades coinciden con espacios de alta densidad residencial.

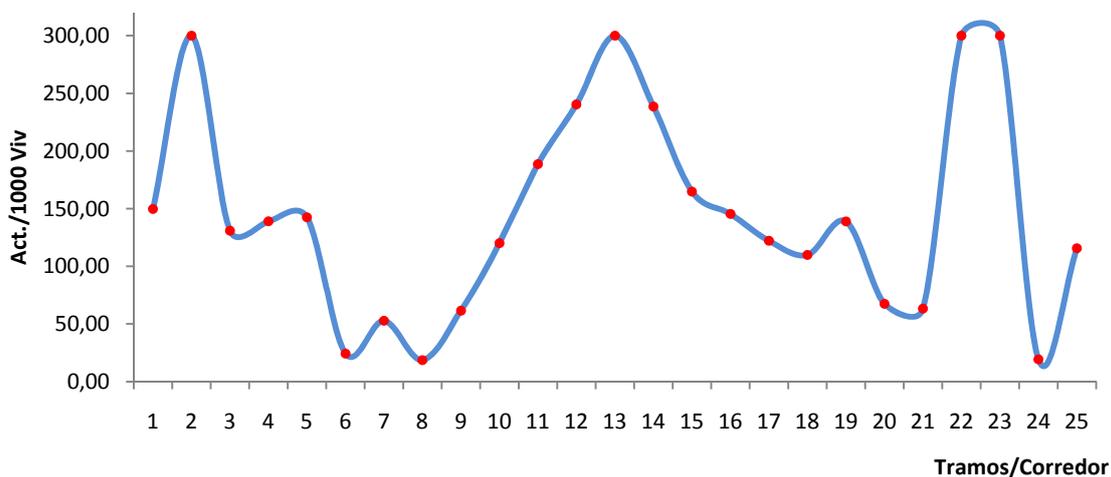


Figura 5.12. Evolución de la intensidad de actividades en el corredor. Fuente: elaboración propia a partir de trabajo de campo (2010) y Dirección General de Catastro (2010)

El tercer grupo está compuesto por tramos con una intensidad de actividades inferior a las 70 act/1000 viv. Estos tramos son el número 7 (52,8 act/1000Viv), 9 (61,6 act/1000Viv), 20 (67,5 act/1000Viv) y 21 (63,3 act/1000Viv). Finalmente, el cuarto y último conjunto de tramos, está integrado por aquellos que cuentan con los valores más bajos de intensidad de actividades del corredor, tales tramos son: el 6 y 8 con valores promedio de 21,50 act/1000 Viv, junto con el tramo 24 con 19,37 act/1000 Viv. Tanto el tercer como cuarto grupo de tramos, coinciden con aquellos lugares del corredor con menores densidades residenciales.

La figura 5.13 representa la evolución de la intensidad de actividades en el corredor, conjuntamente con ejemplos de tramos representativos de la situación expuesta.

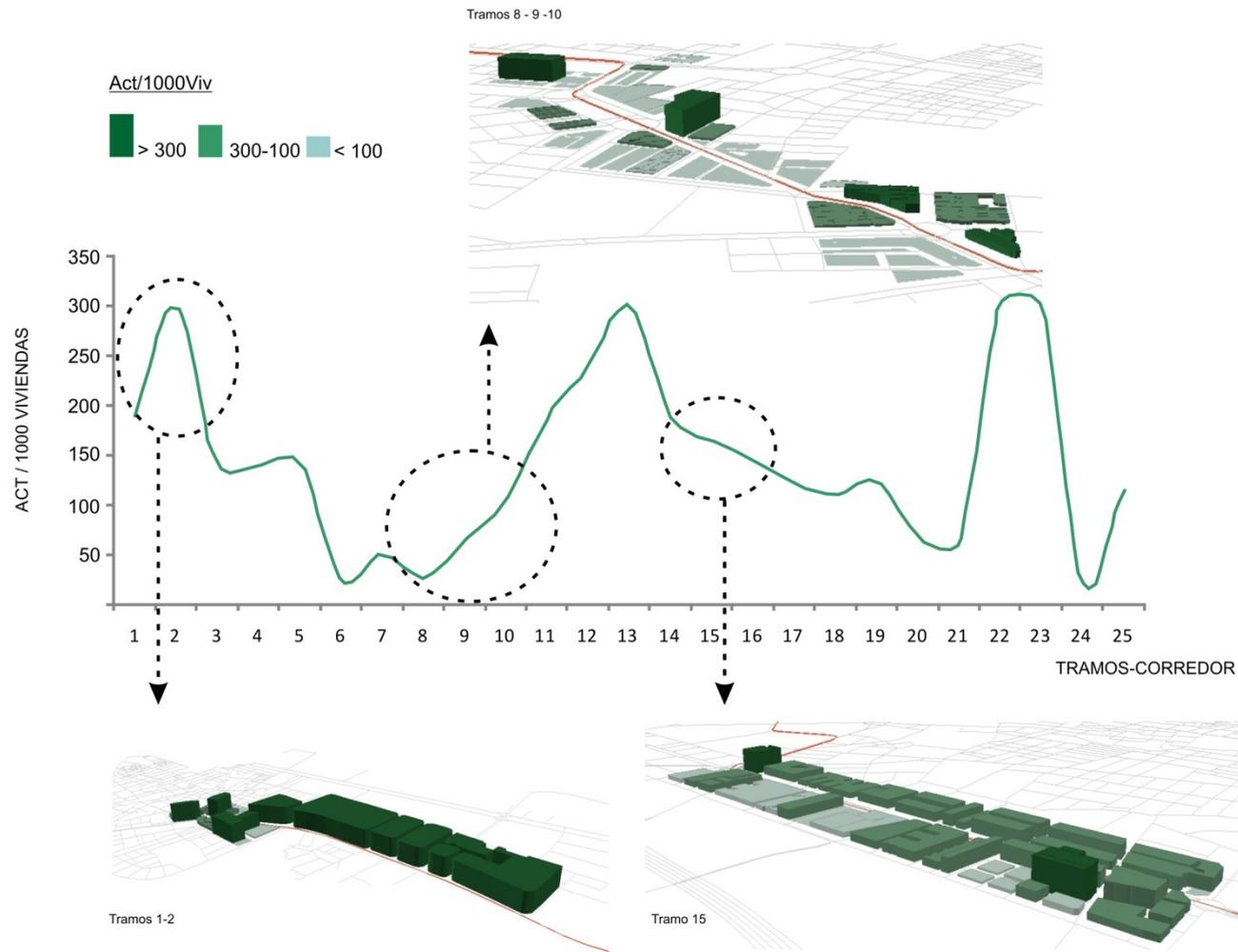


Figura 5.13. Intensidad de actividades urbanas y tramos representativos. Fuente: elaboración propia a partir de trabajo de campo (2010) y Dirección General de Catastro (2010)

Analizada la intensidad de actividades urbanas, conviene detenerse en estudiar qué tipos de actividades dominan en cada caso. Con este objetivo, las actividades urbanas han sido clasificadas en 3 categorías (ver capítulo 3): (i) *Comercial-servicios*, incluyendo todo aquel conjunto de funciones urbanas relacionadas con la actividad cotidiana de los ciudadanos; (ii) *Equipamientos públicos*, como lugares de atracción ciudadana; (iii) *Industrial-tecnológico*, con funciones evidentes de empleo para la población.

Cada una de las tres categorías en las que se han agrupado las diferentes actividades urbanas, tienen un significado espacial respecto de los *vectores de movilidad* utilizados en la identificación de *entornos de movilidad*. La presencia de un mayor número de actividades relacionadas con el tipo comercial-servicios, haría referencia a tejidos urbanos donde la población residente podría cubrir una gran parte de sus actividades cotidianas, relacionadas con aspectos como la alimentación, ocio, banca, comercios, etc., lo cual refuerza la dimensión local de estos espacios. Por el contrario, lugares donde se concentran de manera predominante equipamientos públicos o industrial tecnológico, puede hacer referencia a puntos generadores de movilidad metropolitana, ya que tales funciones, en la mayoría de casos, atraen población a escala supramunicipal. La figura 5.14 y tabla 5.5 muestran en porcentaje, la concentración de cada tipo de actividad en el corredor.

La mayoría de tramos concentran actividad del tipo comercial-servicios, algo lógico si se piensa que 20 de los 25 tramos tienen funciones residenciales consolidadas, tal y como se menciona en el apartado relativo a densidad. Destacan en este sentido los sectores comprendidos entre los tramos 4 y 12, con un dominio del comercial-servicios sobre el resto del 94,83% en promedio, junto con el sector comprendido entre los tramos 14 y 21 con una presencia promedio del 91,96% sobre el resto de usos.

Dentro de esta tendencia general en la concentración de comercial-servicios, existen 4 excepciones relevantes a lo largo del corredor. Tramos donde se produce una situación inversa a la explicada previamente, siendo lugares donde la concentración de equipamientos públicos e industrial-tecnológico es mucho mayor que el comercial-servicios. Estos tramos son el 2, 13, 22 y 23. Cada uno de ellos tiene una particularidad determinada, por ejemplo, la fuerte concentración de industrial-tecnológico en el tramo 2 (76,92%), de equipamientos de carácter universitario en el tramo 13 (73,68%), o la mezcla entre equipamientos universitarios e industrial-tecnológico en los tramos 22 y 23 donde se localiza el actual Campus Tecnológico de la Salud (23,94 y 65,12% de equipamientos universitarios e industrial-tecnológico respectivamente).

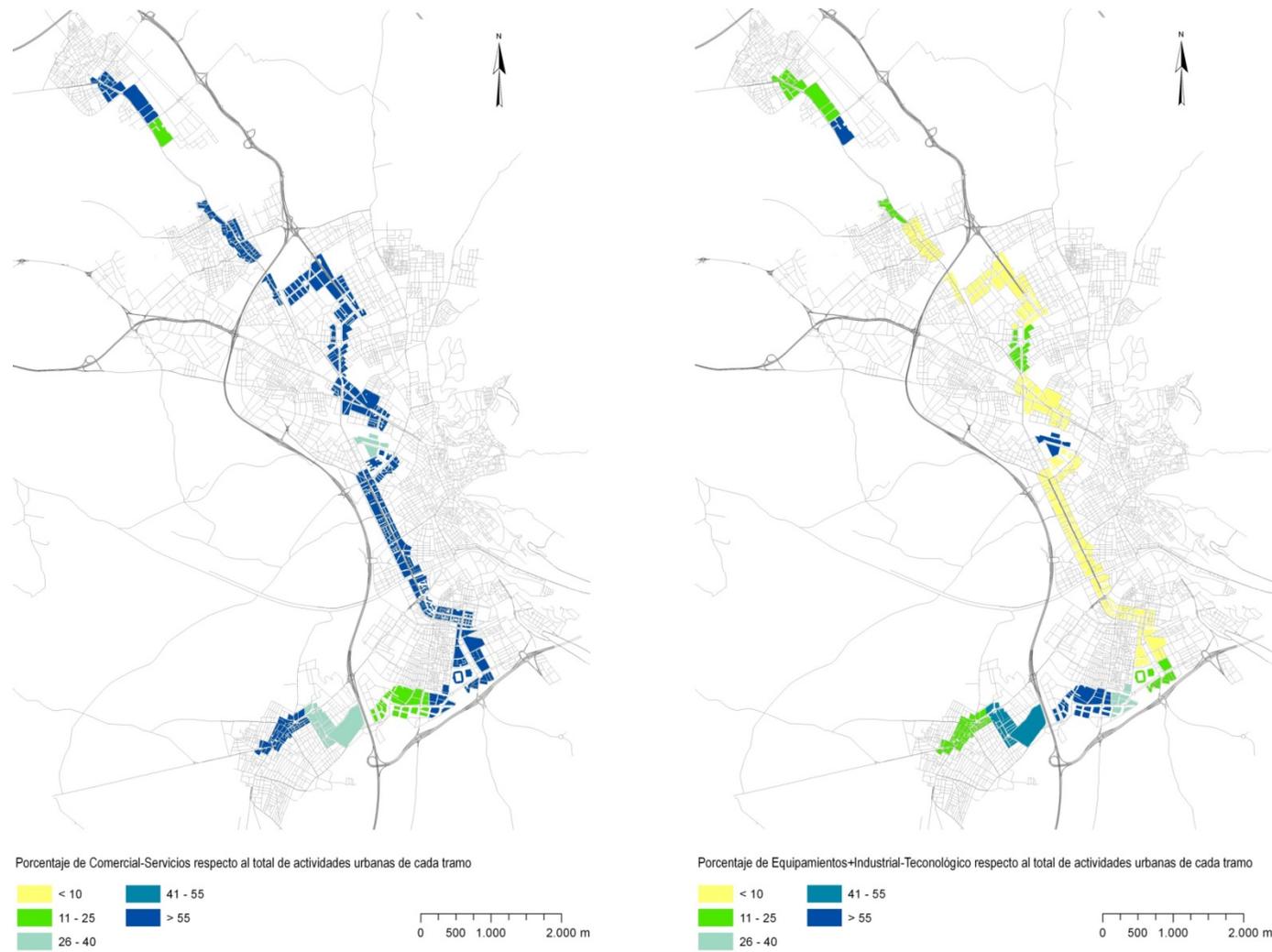


Figura 5.14. Porcentaje de actividades urbanas en el corredor por tramo. Fuente: elaboración propia a partir de trabajo de campo (2010)

Tabla 5.5. Intensidad de actividades urbanas y porcentaje de cada tipo de actividad en el corredor

Tramos	Act/1000Viv	Porcentaje (%)		
		Comercial-Servicios	Equipamientos	Industrial-Tecnológico
1	149,70	77,78	6,94	15,28
2	300,00	23,08	0,00	76,92
3	130,84	76,92	15,38	7,69
4	139,05	97,92	2,08	0,00
5	142,50	96,43	3,57	0,00
6	24,39	93,75	6,25	0,00
7	52,81	93,33	6,67	0,00
8	18,62	100,00	0,00	0,00
9	61,61	80,00	20,00	0,00
10	120,09	100,00	0,00	0,00
11	188,70	94,05	5,95	0,00
12	240,45	98,05	1,95	0,00
13	300,00	26,32	73,68	0,00
14	238,66	95,90	4,10	0,00
15	164,85	99,14	0,86	0,00
16	145,39	97,32	2,68	0,00
17	122,14	97,41	2,22	0,37
18	109,86	96,80	3,20	0,00
19	138,94	97,37	2,63	0,00
20	67,51	87,50	12,50	0,00
21	63,35	64,29	14,29	21,43
22	300,00	14,71	26,47	58,82
23	300,00	7,14	21,43	71,43
24	19,37	50,00	12,50	37,50
25	115,69	90,00	5,00	5,00

Fuente: elaboración propia a partir de trabajo de campo (2010)

Finalmente, señalar que en los tramos en los que tiende a dominar los equipamientos públicos y el industrial-tecnológico respecto del comercial-servicios, son espacios donde la actividad residencial es muy baja o prácticamente nula (ver apartado relativo a la densidad residencial), al tiempo que la intensidad de actividades resultaba ser la más alta de todo el corredor (ver figura 5.15). Este hecho que se repite sistemáticamente en los cuatro tramos en cuestión (2, 13, 22 y 23), les convierte en áreas con una fuerte especialización de carácter metropolitano, lo que les hace actuar como importantes lugares de atracción y generación de flujos de movilidad motorizada. La figura 5.16 toma como ejemplo el tramo 13 para ilustrar la situación descrita.

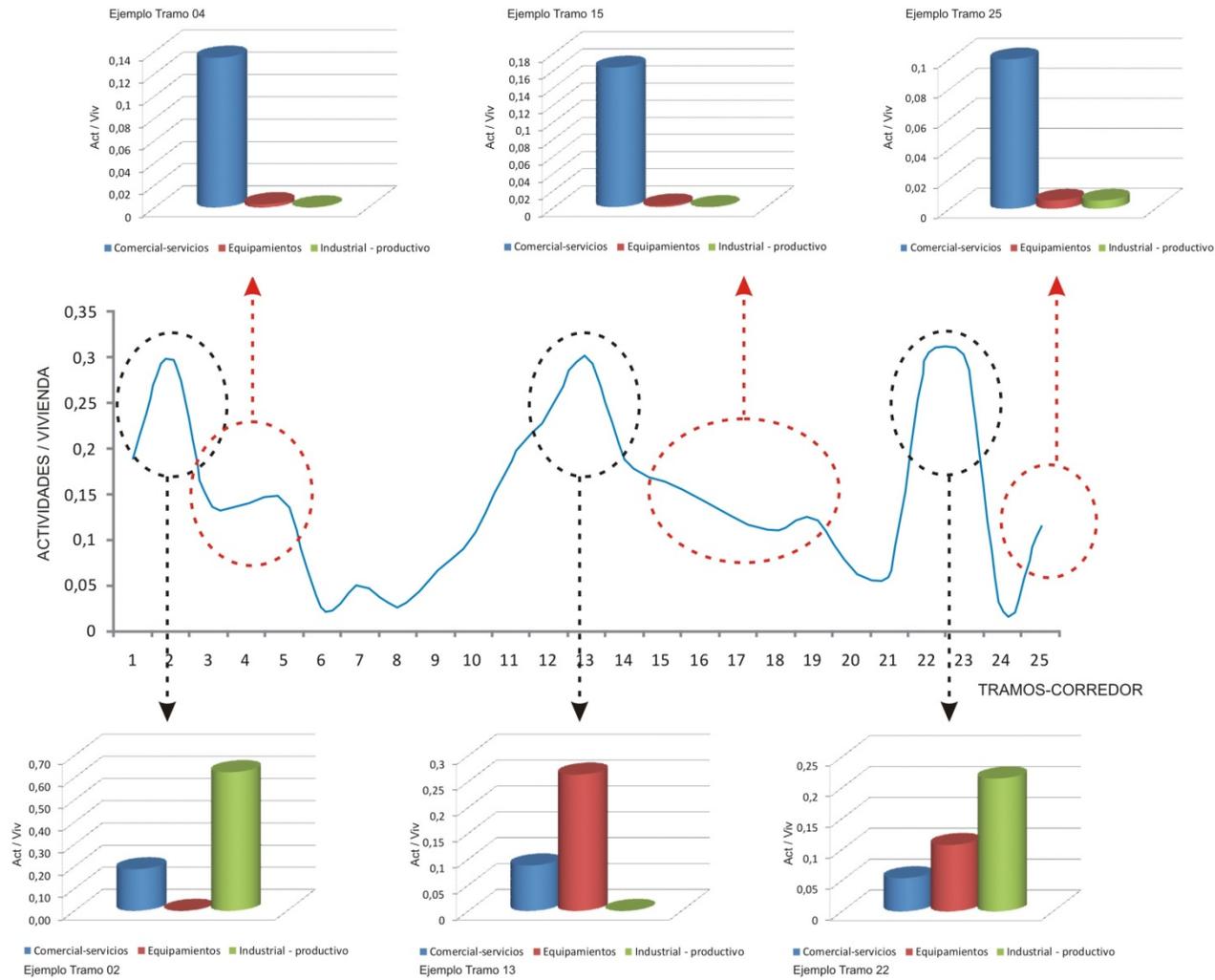


Figura 5.15. Actividades urbanas dominantes. Tramos representativos. Fuente: elaboración propia a partir de trabajo de campo (2010) y Dirección General de Catastro (2010)

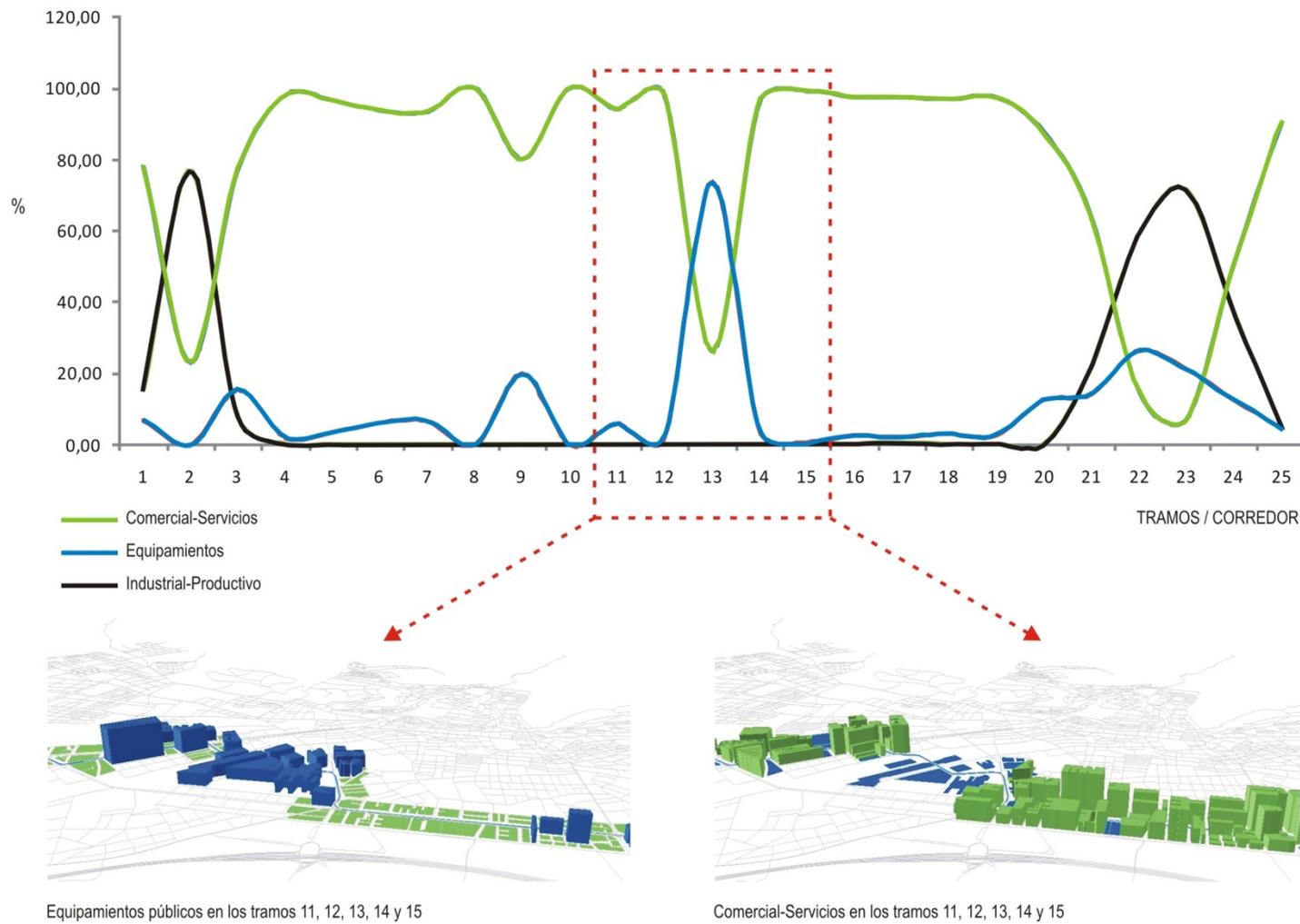


Figura 5.16. Equipamientos públicos en el tramo 13 respecto de los tramos adyacentes. Fuente: elaboración propia a partir de trabajo de campo (2010)

5.3.1.3 Cobertura temporal de las actividades urbanas

La cobertura temporal de actividades urbanas hace referencia a la capacidad de un lugar para ofertar actividades en las diferentes franjas horarias del día. Existen evidencias sobre la mayor dependencia de modos motorizados en aquellos espacios urbanos que concentran sus actividades en determinadas franjas horarias del día (Hickman *et al.*, 2010). Esta situación influye en que con mayor frecuencia, muchas personas hagan su vida familiar en primer lugar, trabajen en un segundo y, finalmente, realicen sus actividades de ocio en un tercero completamente diferente (Bertolini y Djist, 2003).

Distintas instituciones y estudios ponen el acento sobre la necesidad de considerar la cobertura temporal de las actividades urbanas, como parámetro relevante en la identificación de patrones de movilidad más o menos sostenibles, al mismo tiempo que puede ser un factor condicionante de la implementación de sistemas de transporte público (Hine *et al.*, 2000). La hipótesis parte de asumir que cuanto mayor sea el rango temporal diario cubierto por las actividades urbanas de un espacio, menor será la necesidad de viajar por parte de residentes y más eficiente será utilizar el transporte público hasta estos lugares.

De este modo, algunos manuales de buenas prácticas relacionadas con la implementación del *Transit Oriented Development* o el *Transit Development Areas* (Hine *et al.*, 2000) (FDT, 2008), establecen como rango óptimo para una adecuada implementación de sistemas de transporte público como el metro ligero, que las actividades urbanas cubran un espectro diario superior a las 12h (ver figura 5.17).

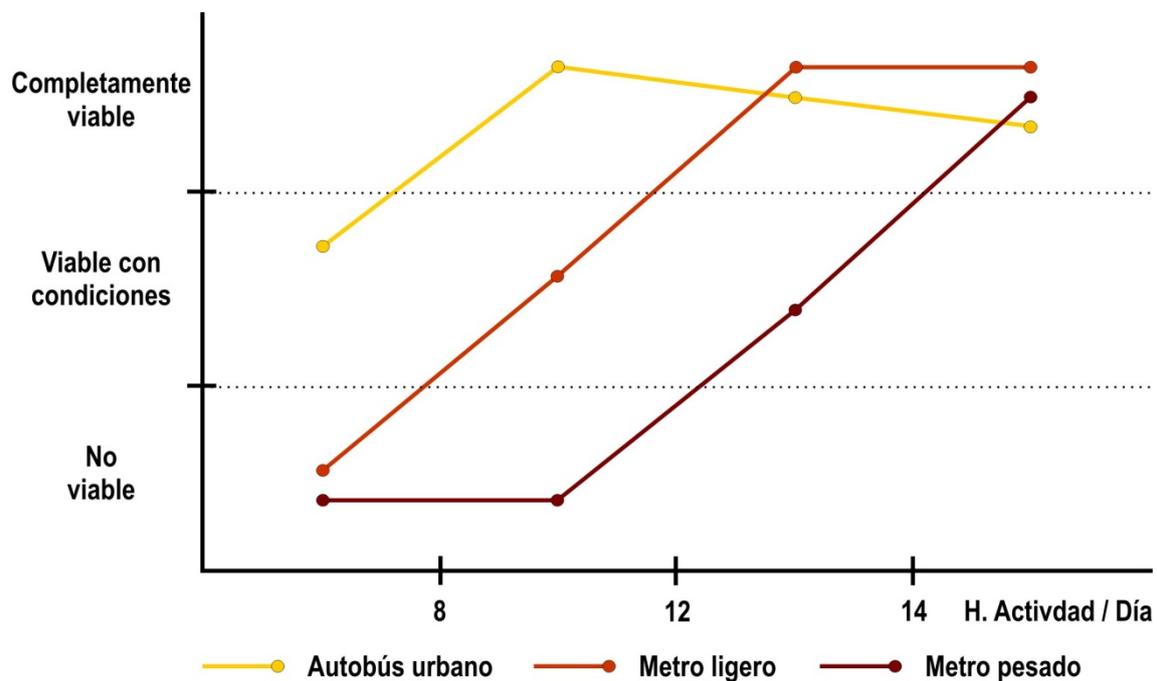


Figura 5.17. Cobertura temporal de actividades urbanas y viabilidad modal. Fuente: elaboración propia a partir de Hine *et al* (2000) y FDT (2008)

En relación con los *vectores de movilidad*, aquellos lugares que alcancen una mayor cobertura temporal de actividades durante el día, serán espacios donde a priori la dimensión local de su movilidad se ve reforzada, frente a otros lugares con mayor especificidad de actividades y, por lo tanto, con una distribución temporal de éstas muy específica y concentrada en determinados momentos del día.

Para realizar el análisis de la cobertura temporal de actividades, éstas han sido distribuidas en 5 franjas horarias diferentes a lo largo del día (6-9h; 9-14,30h; 14,30-18h; 18-21,30h; 21,30h – 3h), a partir de las cuales se establecerán porcentajes de actividad por franja horaria respecto del total de actividades. La figura 5.18 recoge la distribución temporal designada a las diferentes actividades a lo largo del día.

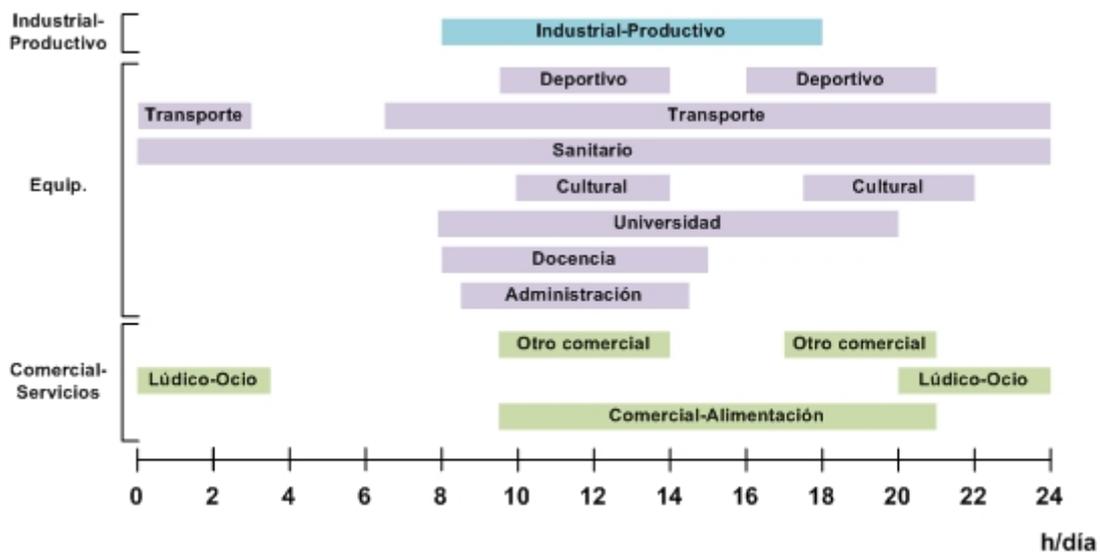


Figura 5.18. Distribución temporal-diaria de actividades urbanas. Fuente: elaboración propia

A raíz de los resultados recogidos en la tabla 5.6, se pueden identificar dos grandes grupos de sectores urbanos en relación con la cobertura temporal de sus actividades. En primer lugar, aquellos que concentran mayoritariamente su actividad durante la mañana y primera hora de la tarde. En segundo lugar, aquellos tramos con una cobertura temporal con un mayor rango horario durante el día.

En este primer grupo de tramos, caracterizados por concentrar la mayor parte de su actividad durante la mañana y primeras horas de la tarde se encuentran los tramos 2, 22, 23 y 24 (79,07 % de su actividad en dichas franjas horarias), que son al mismo tiempo aquellos tramos urbanos que concentran un mayor número de actividades de tipo industrial-tecnológico. Con la excepción del tramo 24, son tramos que ejercen un papel clave como lugares de centralidad metropolitana, siendo origen y destino de gran parte de la movilidad en el ámbito de estudio.

Tabla 5.6. Porcentaje de actividades urbanas por franja horaria

TRAMOS	% respecto del total de actividades de cada tramo				
	6h - 9h	9h - 14,30h	14,30h - 18h	18h - 21,30h	21,30h - 3h
1	21,33	84,00	37,33	76,00	17,33
2	76,92	92,31	84,62	23,08	7,69
3	21,43	100,00	14,29	71,43	0,00
4	2,05	89,04	23,97	96,58	10,96
5	3,51	85,96	19,30	94,74	14,04
6	5,26	100,00	0,00	78,95	0,00
7	6,25	93,75	12,50	93,75	12,50
8	0,00	100,00	0,00	85,71	0,00
9	15,38	100,00	7,69	61,54	0,00
10	0,00	94,23	13,46	100,00	5,77
11	5,88	91,98	15,51	89,84	9,63
12	1,55	89,53	19,38	98,45	10,85
13	57,89	94,74	68,42	100,00	5,26
14	3,50	73,50	36,00	97,00	26,50
15	0,58	81,44	24,32	99,28	18,56
16	1,98	92,74	13,53	97,69	7,92
17	2,21	87,13	19,85	97,43	13,24
18	0,79	80,31	30,71	97,64	19,69
19	2,47	67,90	34,57	91,36	32,10
20	6,25	93,75	18,75	93,75	6,25
21	35,71	100,00	35,71	78,57	7,14
22	80,56	97,22	83,33	38,89	2,78
23	81,25	100,00	81,25	25,00	0,00
24	50,00	100,00	37,50	50,00	0,00
25	8,22	88,36	21,23	87,67	10,27

Fuente: elaboración propia a partir de trabajo de campo (2010)

El segundo grupo de tramos, caracterizados por estar activos de una forma más permanente a lo largo de todo el día, refuerzan su dimensión local de cara a la movilidad del corredor. Algunos tramos representativos de la situación expuesta son el tramo 1 en el centro urbano de Albolote (21,33%; 84%; 37,33%, 76% y 17,33% para cada una de las franjas horarias definidas), los tramos 4 y 5 en el centro urbano de Maracena (2,78%; 87,5%; 21,63%; 95,65%; 12,49% en promedio para cada una de las franjas horarias definidas), los tramos 14, 15, 16, 17, 18 y 19 (1,91%; 80,50%; 26,49%; 96,73% y 19,66% en promedio para cada una de las franjas horarias definidas) y, finalmente, el tramo 25 en el centro urbano de Armilla (8,22%; 88,36%; 21,23%; 87,67% y 10,67% para cada una de las franjas horarias definidas). Repasando los apartados anteriores se puede ver como este conjunto de tramos coinciden mayoritariamente con aquellos que tenían las mayores densidades residenciales y mayor intensidad de actividades urbanas.

Los tramos restantes (tramos 6, 8, 9, 20 y 21), tienen una baja intensidad de actividades en comparación con el resto de tramos del corredor ($<70 \text{ act}/1000 \text{ viv}$), donde generalmente predomina el comercial-servicios sobre el resto, con una cobertura temporal similar al anterior grupo de tramos, aunque en algunos casos, como por ejemplo, los tramos 6 y 8, la intensidad de actividades es tan baja ($<30 \text{ act}/1000\text{Viv}$) que su cobertura temporal no obedece a ningún patrón definido.

Con el fin de ilustrar la situación expuesta, las figuras 5.19 y 5.20 muestran la intensidad de actividades por franja horaria, tanto para el total del corredor como para algunos tramos representativos de la situación expuesta.

A modo de síntesis, indicar que la mitad de tramos del corredor presentan niveles de actividad urbana que sobrepasan las 12h/día adoptadas como umbral de viabilidad para la implementación de sistemas de transporte público como el metro ligero, del resto, salvo los tramos 6, 8, 9, 20 y 21 con un intensidad de actividades muy baja y prácticamente nula en algunos tramos, poseen niveles de actividad diaria en torno a las 8h.

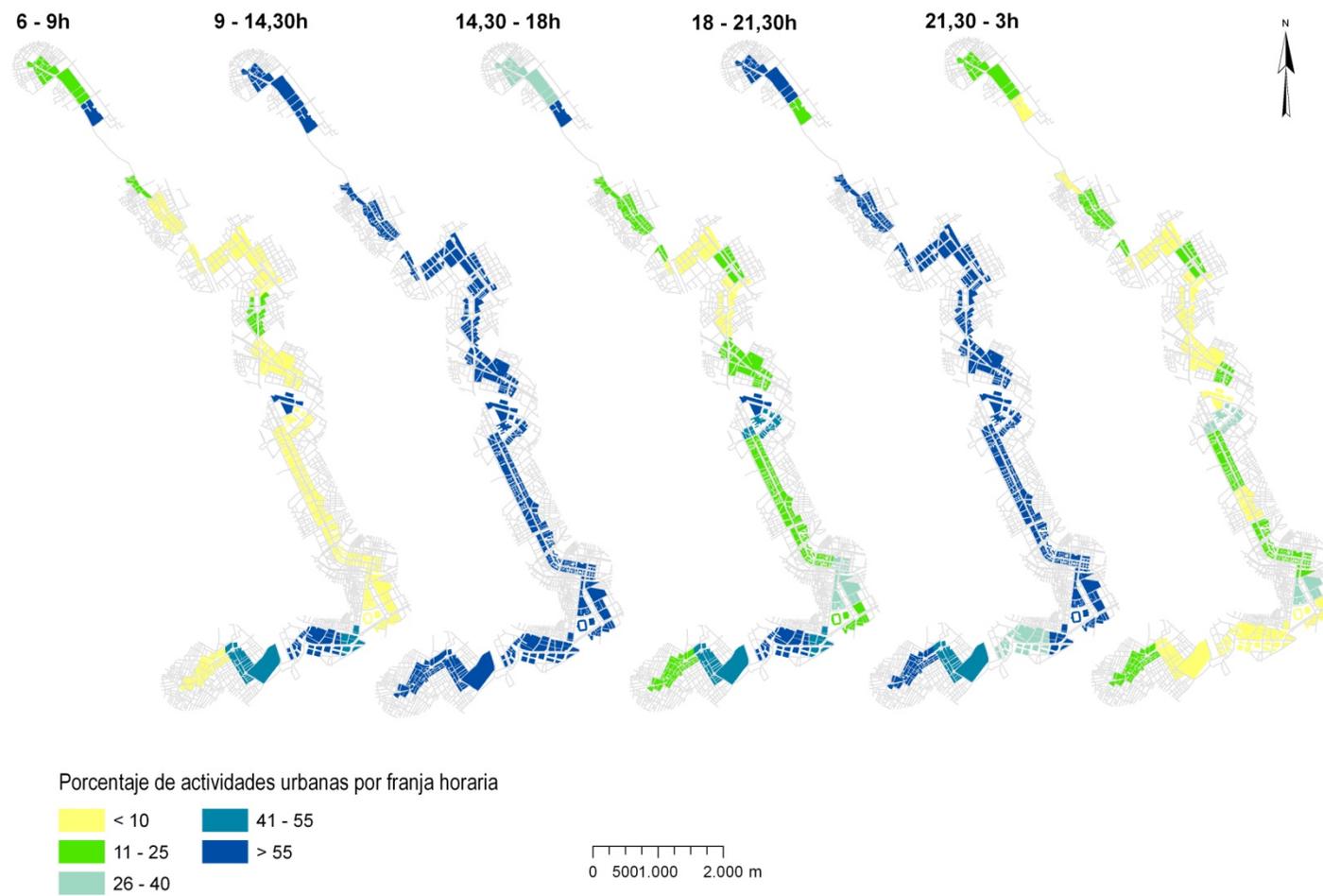


Figura 5.19. Distribución temporal de las actividades urbanas por franjas horarias. Fuente: elaboración propia a partir de trabajo de campo (2010)

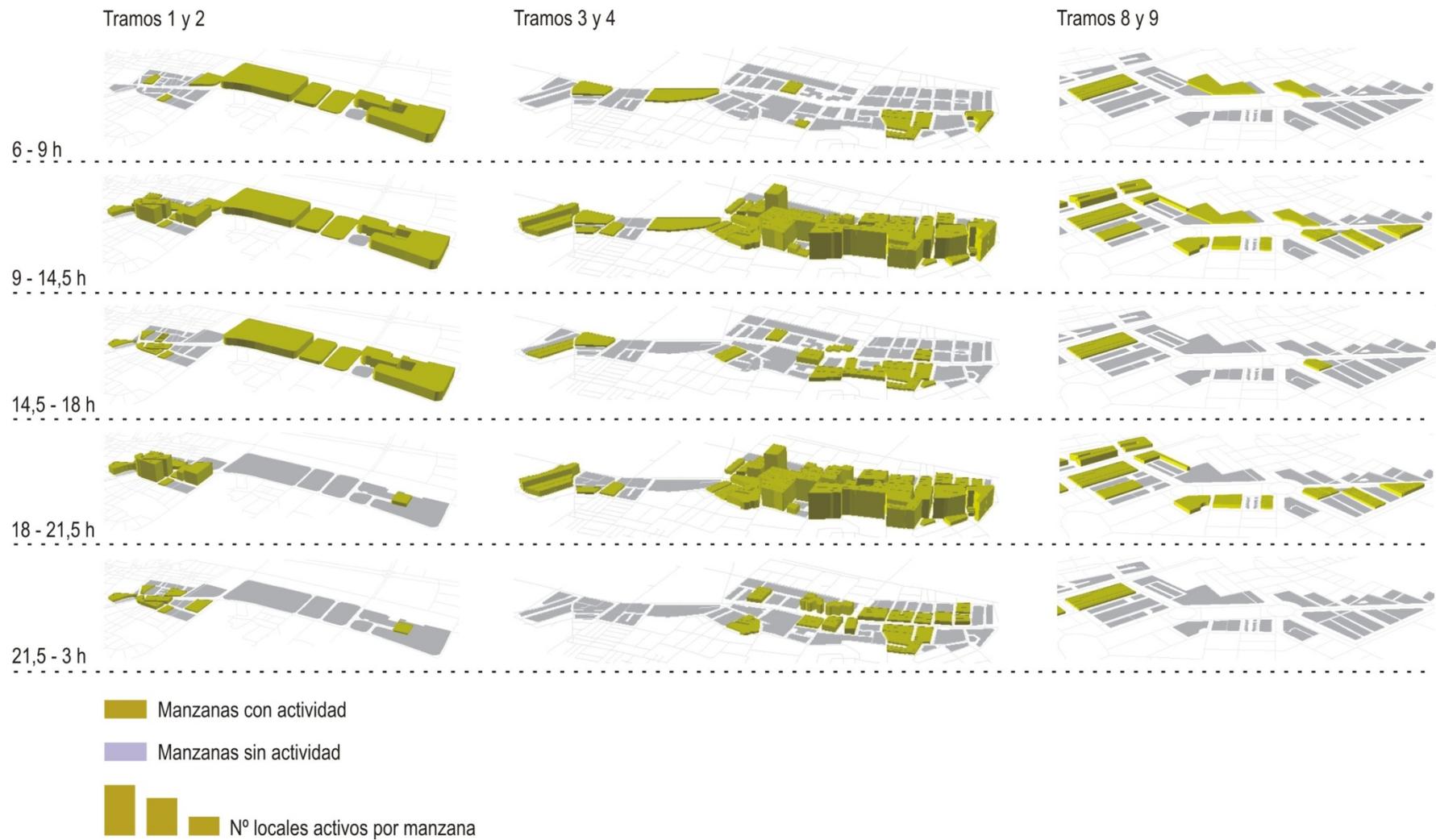


Figura 5.20. Ejemplos de tramos con diferente cobertura temporal de sus actividades urbanas. Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo de campo (2010)

Tras analizar los resultados de los diferentes indicadores que componen el bloque relativo a estructura urbana, pueden ser identificados tres tipos de tramos (ver figura 5.19):

- *Tramos con una fuerte dimensión local*, con densidades residenciales por encima de las 80 Viv/Ha. La intensidad de actividades es siempre superior a las 100 act/1000 viviendas, con predominio del comercial-servicios por encima del resto de actividades. La cobertura temporal supera en todos los casos supera las 12h/día.
- *Tramos monofuncionales de residencia*, con densidades residenciales siempre inferiores a 50 Viv/Ha. La intensidad de actividades es inferior a 70 act/1000 viviendas, con predominio del comercial-servicios por encima del resto de actividades. La baja intensidad de actividades en la mayoría de casos hace que no se identifique un patrón de cobertura temporal específico.
- *Tramos monofuncionales no residenciales*, sin apenas actividad residencial, su intensidad de actividades es la más alta del corredor (>300 act/1000 Viv). El tipo de actividad predominante es el industrial-tecnológico y los equipamientos públicos. La cobertura temporal de actividades tiende a concentrarse durante las horas de mañana y primeras horas de la tarde, con una equivalencia de 8h/día.

Tabla 5.7. Síntesis de los resultados obtenidos para el bloque de estructura urbana

Densidad residencial	Intensidad actividades	Actividades dominantes	Cobertura temporal	Ej. Tramos
>80 Viv/Ha	> 100 Act/1000 Viv	Comercial-Servicios	>12h/día	Tramos 4, 5, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 25
50-80 Viv/Ha	<70 Act/1000Viv		Sin patrón definido	Tramos 7, 8, 9, 20, 21
<50 Viv/Ha				
Sin residencia	>300 Act/1000Viv	Industrial-Tecnológico y Equipamientos públicos	>8h/día	Tramos 2, 13, 22, 23

Fuente: elaboración propia

5.3.2 Accesos y modos de viaje en el corredor

De acuerdo al apartado metodológico, los accesos y modos de viaje del corredor suponen el segundo *componente* de los *entornos de movilidad*. Su estudio ayudará a valorar el papel de cada tramo del corredor como lugares de tránsito urbano.

El apartado comprende el análisis de las relaciones entre tráfico, transporte público y actividades urbanas en primer lugar, para en una segunda parte evaluar la interrelación entre el corredor y sus principales ejes transversales.

5.3.2.1 Tráfico, transporte público y actividades urbanas

El entorno urbano del corredor puede actuar como factor de atracción o generación de flujos de movilidad. Por esta razón, la relación entre el nivel de actividad urbana y los flujos de movilidad motorizados, pueden ser claves para interpretar las funciones de cada tramo del corredor como lugares destinados al tránsito motorizado.

Se utilizarán dos indicadores para analizar dicha relación entre el nivel de actividad urbana del corredor y los niveles de circulación motorizada. Por un lado, el número de vehículos al día que circulan en cada tramo respecto del total de actividades no residenciales de éste (vehículos/actividad). Por otro lado, el número de autobuses urbanos al día que circulan en cada tramo respecto del total de actividades no residenciales (autobuses/actividad).

La figura 5.21 muestra el número de vehículos y autobuses diarios que circulan por cada tramo del corredor, conjuntamente con el total de actividades no residenciales de éste.

Una primera aproximación a los resultados obtenidos deja ver dos tipos de tramos en el corredor. En primer lugar, aquellos tramos que poseen bajos niveles de tránsito motorizado por actividad no residencial, entre otros, los tramos centrales del corredor (tramos 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19). En segundo lugar, tramos con un elevado tránsito motorizado en relación con las actividades no residenciales, destacando, los tramos 6, 7, 8, 9, 10, 20 y 21 ubicados al norte y sur de la ciudad de Granada respectivamente.

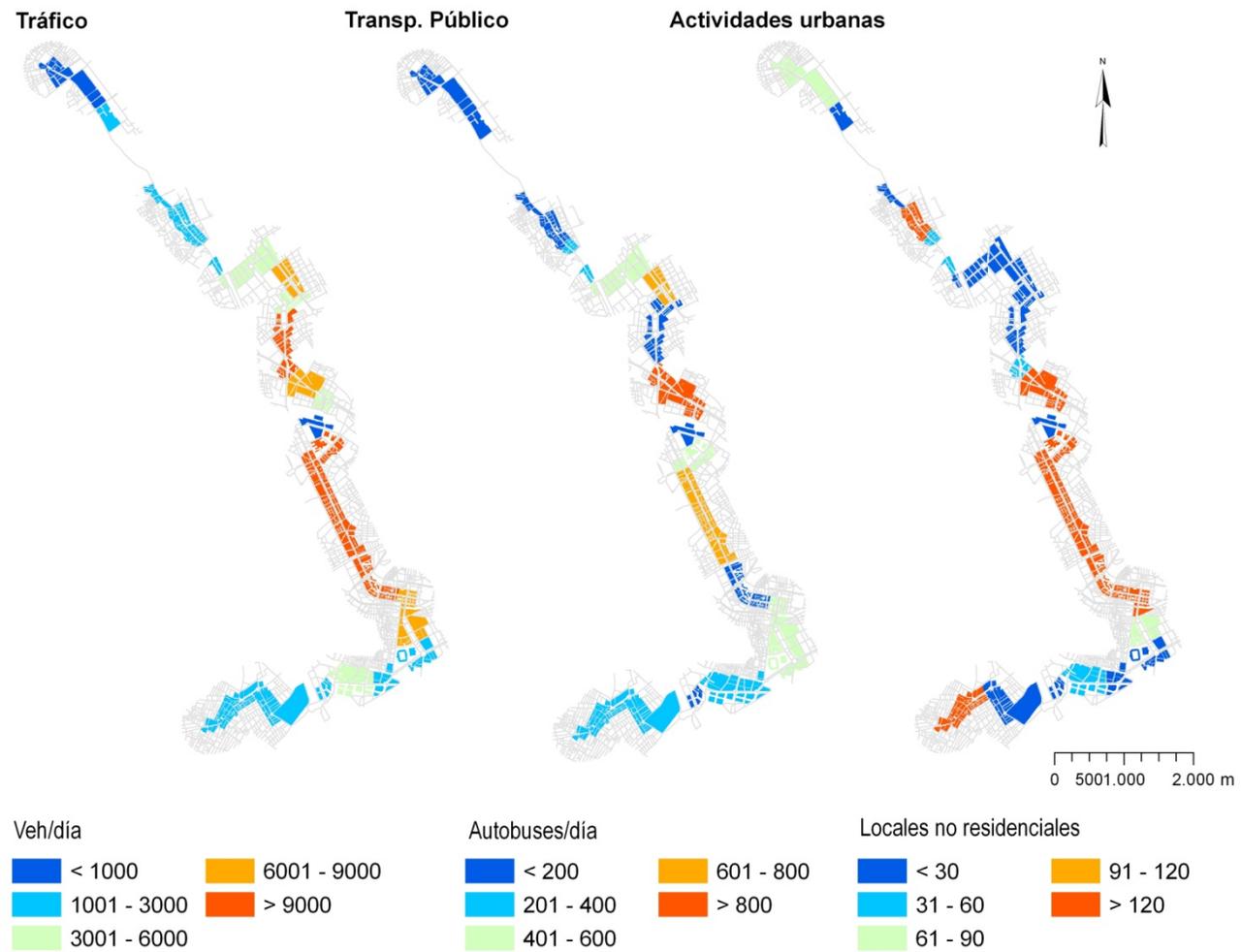


Figura 5.21. Tráfico, transporte público y actividades urbanas en el corredor. Fuente: elaboración propia a partir de Ayuntamiento de Granada (2008) y trabajo de campo (2010).

TRAMOS	Tráfico/Actividad	Autobuses/Actividad
1	9,66	1,28
2	89,06	7,38
3	111,71	10,29
4	10,08	1,05
5	20,55	4,79
6	238,32	22,18
7	471,81	46,56
8	621,71	27,43
9	906,42	14,77
10	229,54	19,38
11	39,88	8,64
12	20,61	5,88
13	0,00	0,00
14	54,49	2,74
15	19,75	1,01
16	33,81	2,31
17	33,80	5,54
18	62,72	4,44
19	90,99	6,84
20	186,13	28,91
21	205,43	26,18
22	104,58	8,00
23	176,80	12,32
24	302,36	26,93
25	16,38	1,48

Tabla 5.8. IMD y Nº autobuses urbanos diarios respecto del total de actividades urbanas.
Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2007) y trabajo de campo (2010).

Es necesario matizar algunos aspectos en aquellos tramos del corredor que poseen bajos niveles de tránsito motorizado respecto del número de actividades urbanas. Por un lado, destacar aquellos tramos donde existe una fuerte intensidad de actividades y un alto nivel de circulación de vehículos motorizados al día, de aquellos que por el contrario, poseen una baja circulación de vehículos motorizados respecto del total de actividades urbanas no residenciales. El primer tipo de tramos hace referencia a lugares del corredor que actúan como centros de atracción de movilidad, o bien como tramos distribuidores de tráfico. El segundo tipo de tramos, donde existe una baja circulación de tráfico motorizado, reforzaría la dimensión local de tales lugares en el corredor.

Como ejemplos del grupo de tramos donde coexiste un alto nivel de circulación motorizada y un alto nivel de actividad urbana, que tiene como consecuencia una bajo tránsito motorizado respecto del nivel de actividad no residencial, destacan los tramos 11, 12, 14, 15, 16, 17 con valores de 33,72 veh/actividad y 4,35 autobuses/actividad al día. Por otro lado, como ejemplos del segundo tipo de tramos relativos a bajos niveles de circulación motorizada, destacan los tramos 1, 4, 5, 18, 19 y 25 con valores de 35,06 veh/actividad y 3,31 autobuses/actividad al día.

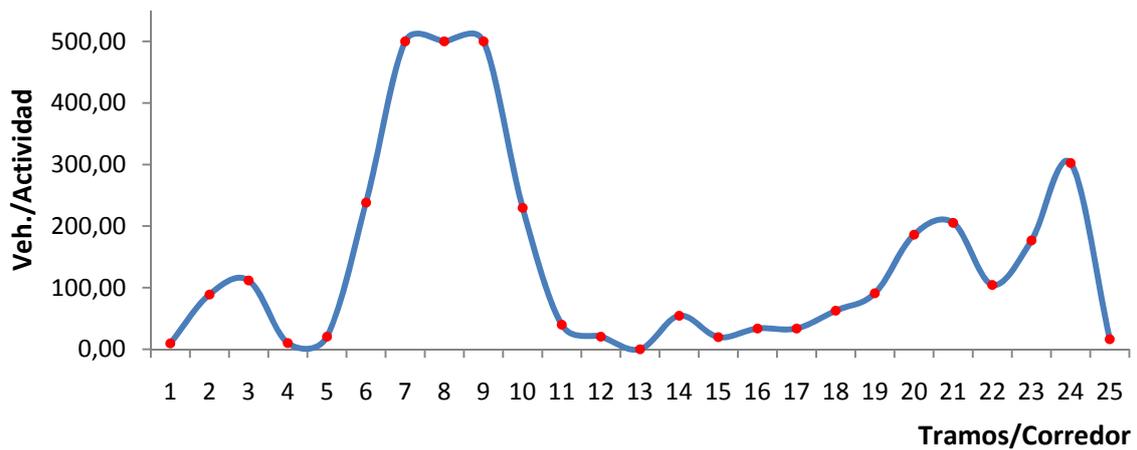


Figura 5.22. Vehículos/día respecto del total de actividades urbanas. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2007) y trabajo de campo (2010)

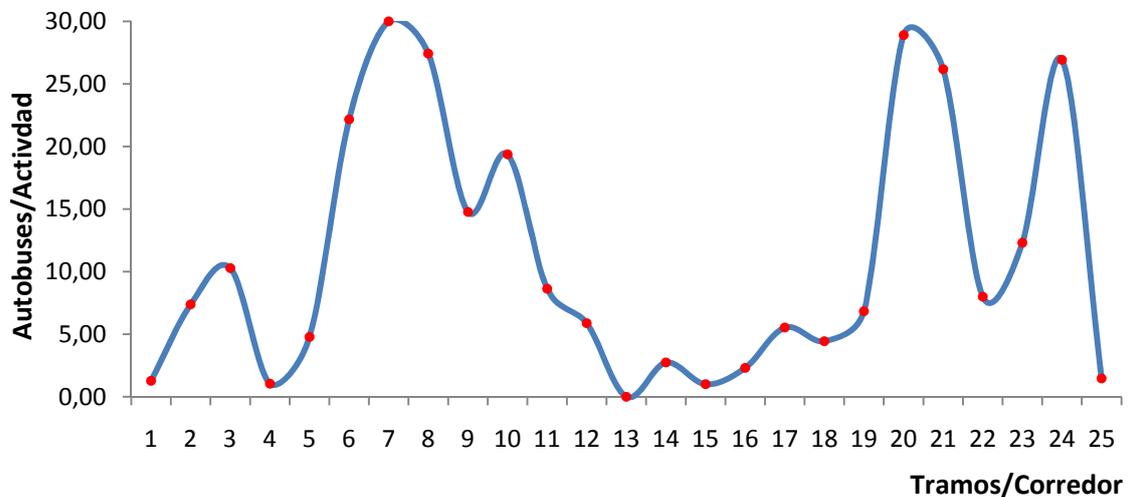


Figura 5.23. Autobuses/día respecto del total de actividades urbanas. Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2007) y trabajo de campo (2010)

Finalmente, un último tipo de tramos son aquellos que poseen un elevado tránsito motorizado respecto del total de actividades urbanas, lo que puede ser una consecuencia, bien de que tales tramos urbanos actúen como elementos de centralidad metropolitana, o bien porque su nivel de actividad es muy bajo, siendo lugares con una fuerte especialización de tipo residencial. Respecto al primer grupo, destacan en el corredor los tramos 2, 22 y 23 con valores de 123,48 veh/actividad y 9,23 autobuses/actividad al día. En el segundo grupo, donde se encontrarían aquellos tramos con altos niveles de tránsito respecto del nivel de actividades

urbanas, destacan los tramos 6, 7, 8, 9, 10, 20, 21 con valores de 408,48 veh/actividad y 26,48 autobuses/actividad al día, tramos cuya principal función de cara a la movilidad en el corredor está orientada a la distribución de tráfico motorizado. Bien entre el corredor, o bien entre el correo y el resto de la ciudad.

5.3.2.2 El corredor y sus principales ejes transversales

La propia existencia del corredor está relacionada con su capacidad vertebradora, dependiente del número e importancia de sus ejes transversales. De este modo, la propia funcionalidad del corredor está condicionada en muchos casos por el papel de tales ejes, por un lado, como elementos de alimentación, fuga o distribución de parte de la movilidad motorizada del corredor, por otro lado, por su papel como itinerarios no motorizados, articulados a través de la continuidad del espacio público o constituyendo rutas comerciales.

De cara a la investigación, han sido seleccionados siete ejes viarios transversales al corredor (en adelante transversales), atendiendo a las siguientes características:

- Volumen de tráfico que discurre por la transversal
- Capacidad articuladora del ámbito de estudio

Las transversales seleccionadas, se componen a su vez de once vías que interceptan con el corredor, sobre las que recaerá el análisis que contribuirá a la definición de *entornos de movilidad*.

La tabla 5.9 y figura 5.24 contienen una descripción de las transversales seleccionadas y su localización geográfica.

Tabla 5.9. Descripción de las transversales seleccionadas

TRANSVERSAL	VÍAS (Bifurcación)	CONEXIÓN - CORREDOR	LONGITUD (Km)
Transversal 1	Av. Andalucía (tramo A)	Tramo 10	3,23
	Av. Andalucía (tramo B)	Tramos 10 y 11	0,33
Transversal 2	Ctra. de Málaga	Tramos 10 y 11	3,83
Transversal 3	Av. Constitución	Tramo 11	0,65
Transversal 4	C/Camino de Ronda	Tramos 11, 14 y 15	1,21
Transversal 5	C/Méndez Núñez	Tramos 14 y 15	0,37
	C/Severo Ochoa	Tramo 14	0,51
Transversal 6	C/Neptuno	Tramos 15 y 16	0,40
	C/Recogidas	Tramos 15 y 16	0,64
Transversal 7	Ctra. Armilla	Tramos 17	2,23
	C/Paseo del Violón	Tramos 17	0,47

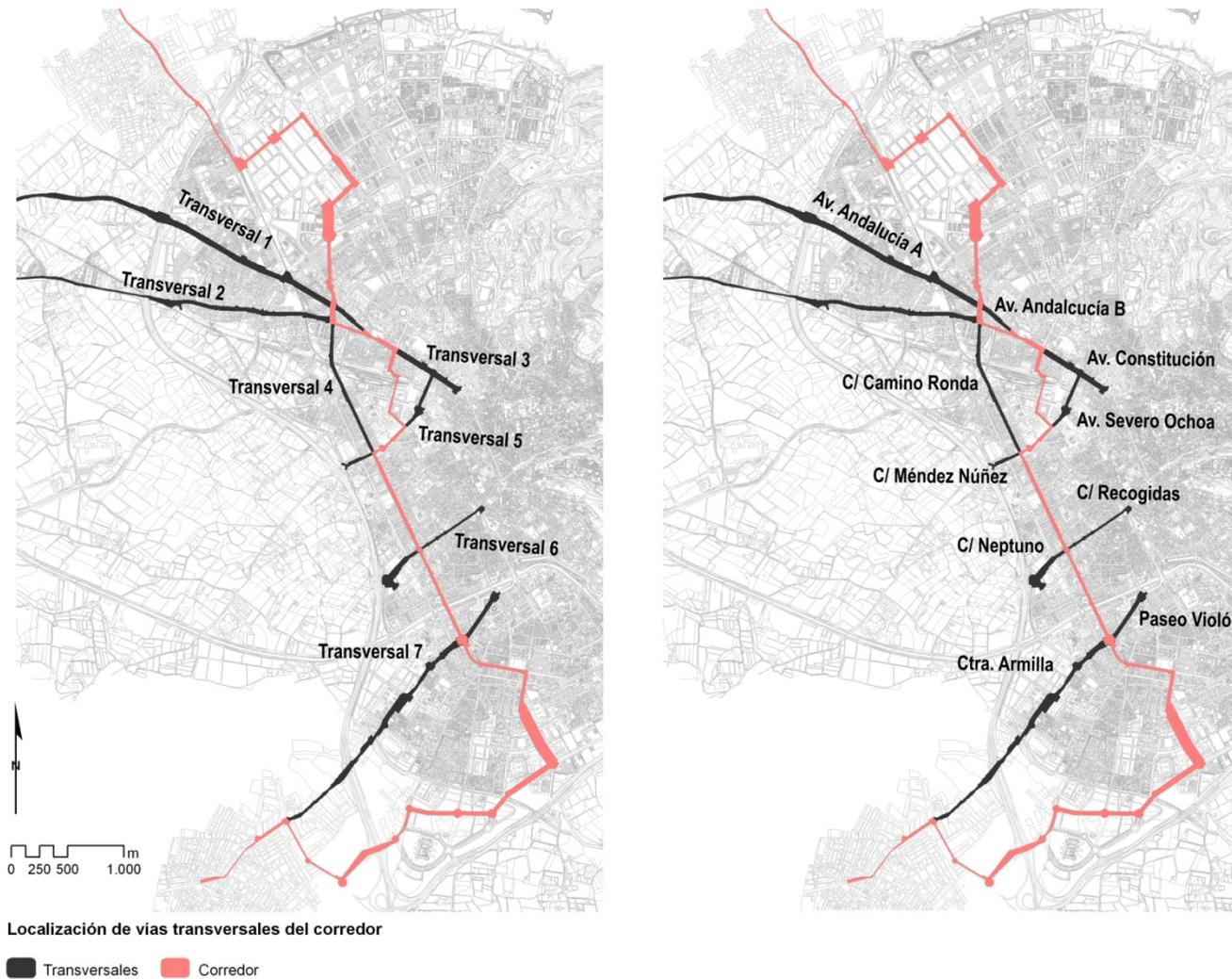


Figura 5.24. Localización geográfica de las transversales. Fuente: elaboración propia

Con el objetivo de llevar a cabo el estudio de la relación corredor-transversal, se analizarán una serie de posibles funciones de tales transversales en base a los dos bloques siguientes:

- a) *Influencia en el Tráfico*, específicamente a través del análisis de la función de las transversales como elementos de alimentación, fuga y distribución de los flujos de tráfico en el corredor.
- b) *Itinerarios de circulación*, específicamente a través de la función de estas transversales como itinerarios peatonales (rutas comerciales y ejes de espacio público) e itinerarios motorizados (conexión con centros industriales, comerciales y equipamientos públicos sin continuidad a través del tejido urbano)

5.3.2.2.1 Influencia de los ejes transversales en el tráfico del corredor

Antes de analizar con detalle el papel de cada una de las intersecciones existentes entre las transversales y el corredor, conviene mostrar a modo introductorio, una visión global de los flujos de tráfico de cada una de las vías que conforman las transversales seleccionadas. La tabla 5.10 muestra la relación entre flujos de tráfico privado y autobuses públicos urbanos diarios en cada vía transversal.

Tabla 5.10. Tráfico en las transversales del corredor

Transversales	Transversales (bifurcaciones)	Vehículos privados (veh/día)			Autobuses (autobuses/día)		
		Entrada al corredor	Salida del corredor	Saldo	Entrada al corredor	Salida del corredor	Saldo
1	Av. Andalucía (Tramo A)	4620	6958	-2338	144	96	48
	Av. Andalucía (Tramo B)	4827	5445	-618	538	691	-154
2	Ctra. Málaga	2328	1854	474	154	202	-48
3	Av. Constitución	4680	4328	352	595	442	154
4	C/ Camino de Ronda	10113	10088	25	653	576	77
5	C/ Méndez Núñez	7280	6405	875	0	0	0
	C/ Severo Ochoa	5392	4823	569	96	173	-77
6	C/ Neptuno	4122	6836	-2714	0	0	0
	C/ Recogidas	6224	4925	1299	86	86	0
7	Ctra. Armilla	7236	3933	3303	125	125	0
	Paseo del Violón	4264	5820	-1556	0	0	0

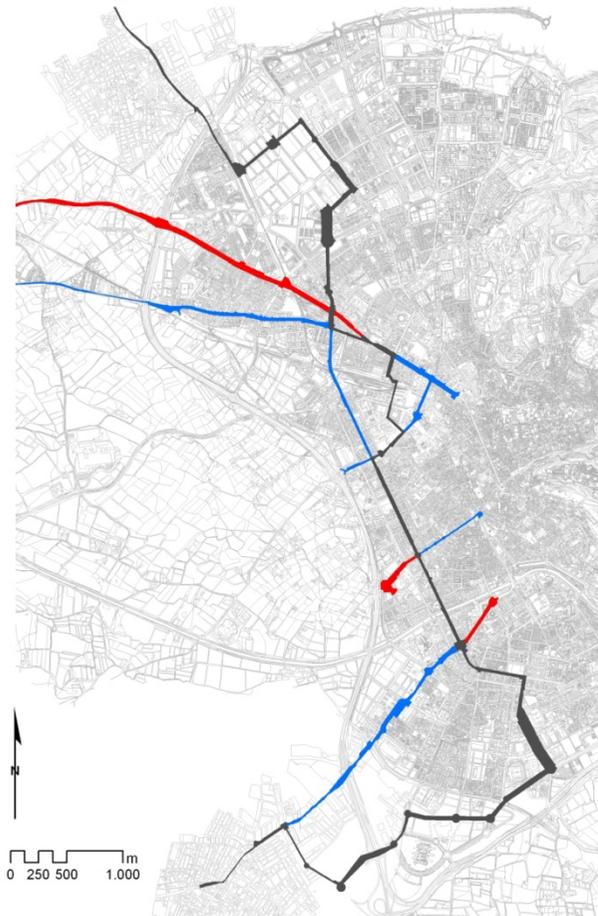
Fuente: elaboración propia a partir de Ayuntamiento de Granada (2007).

La vía Camino de Ronda es la que posee una mayor influencia sobre el tráfico del corredor, consecuencia de que conecta doblemente con él (ver figura 5.24 relativa a la localización geográfica de las transversales). De esta forma, dicha vía supone un 16,55% de las entradas de tráfico privado al corredor por parte de las transversales, conjuntamente con un 16,42% de sus salidas, teniendo un balance prácticamente neto en cuanto a entradas y salidas, lo que refuerza su papel como vía distribuidora entre diferentes lugares del corredor. Junto a Camino de Ronda, destaca el tramo A de la Av. Andalucía, C/ Neptuno y Paseo del Violón como vías transversales que actúan como lugares de fuga de tráfico privado del corredor, con saldos negativos entre entradas y salidas de -2338, -2714 y -1556 veh/día respectivamente. Finalmente, como principales vías transversales de entrada de tráfico, destaca la Ctra. de Armilla con un balance neto de 3303 veh/día, conjuntamente con la C/Recogidas con un balance positivo de 1299 veh/día.

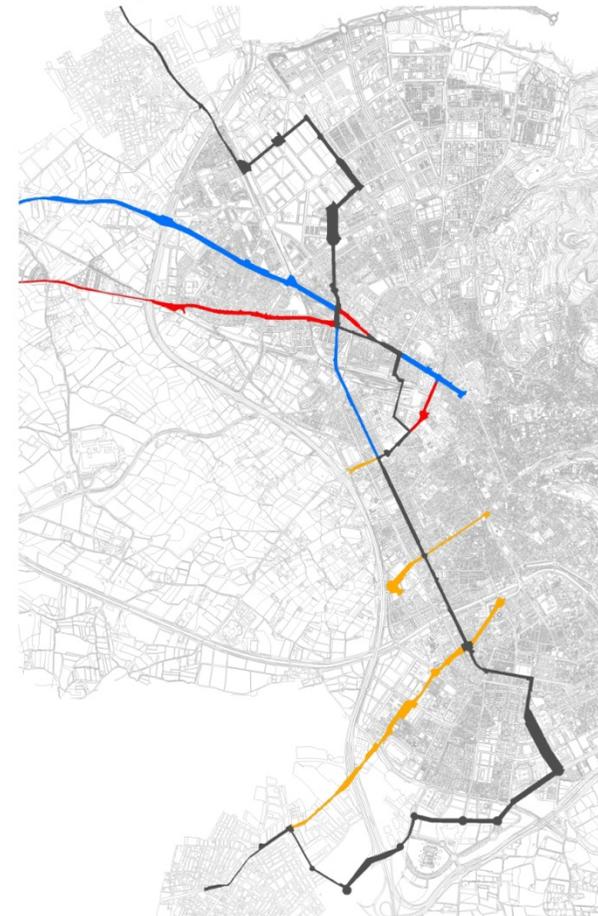
Respecto de los datos obtenidos en relación con el transporte público, se puede ver como la incidencia de las transversales en el corredor es mucho menor que en el caso anterior, situación que es consecuencia de que los propios itinerarios de transporte público, coinciden mayoritariamente con el trazado del corredor, especialmente en la zona sur de la ciudad de Granada. No obstante, destacan como vías transversales de entrada de transporte público al corredor la Av. Constitución y Camino de Ronda, ambas con un saldo positivo de 154 y 77 autobuses/día respectivamente. Como vías transversales de fuga de transporte público del corredor destacan el tramo B de la Av. Andalucía (-154 autobuses/día), junto con la C/Severo Ochoa con -77 autobuses/día.

La figura 5.25 recoge a nivel espacial los balances de tráfico estimados en cada una de las vías transversales.

Vehículos privados



Autobuses públicos



Balances de tráfico en cada transversal

Corredor Entradas Salidas Balance neutro

Figura 5.25. Balance de tráfico en las transversales. Fuente: elaboración propia

Con el fin de realizar un análisis más pormenorizado sobre la influencia de cada vía transversal en el tráfico del corredor, se han identificado 4 lugares de intersección entre las transversales y éste, donde profundizar sobre el análisis previamente introducido. La tabla 5.11 y figura 5.26 contienen una descripción general de tales intersecciones junto a su localización geográfica.

Tabla 5.11. Características de las intersecciones entre transversales y corredor

INTERSECCIONES	TRANSVERSALES	VÍAS (BIFURCACIÓN)
Intersección 1	Transversal 1	Av. Andalucía (A)
		Av. Andalucía (B)
	Transversal 2	Ctra. Málaga
	Transversal 3	Av. Constitución
Intersección 2	Transversal 5	C/ Méndez Núñez
		C/ Severo Ochoa
	Transversal 4	C/ Camino de Ronda
Intersección 3	Transversal 6	C/ Neptuno
		C/ Recogidas
Intersección 4	Transversal 7	Ctra. Armilla
		Paseo del Violón

Fuente: elaboración propia

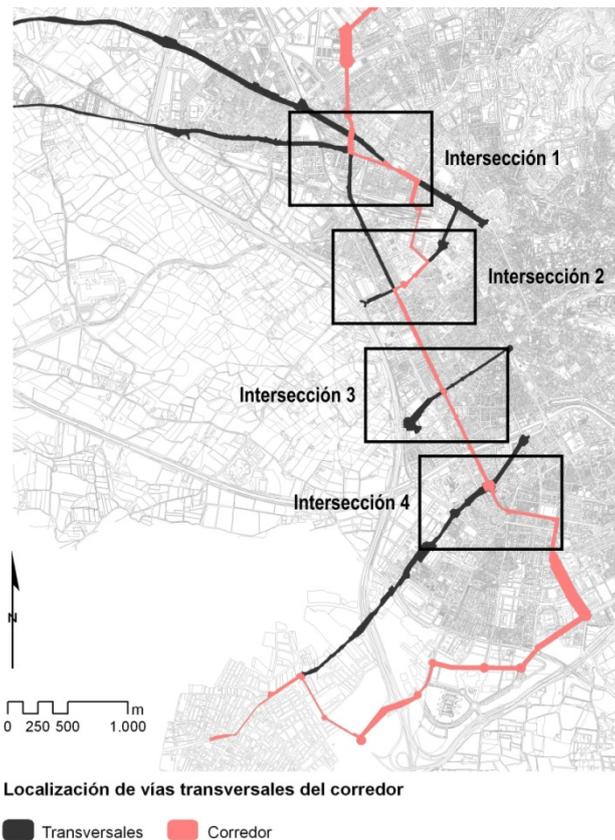


Figura 5.26. Localización geográfica de las intersecciones entre transversales y corredor.

Fuente: elaboración propia

En relación con el tráfico privado, dos de las intersecciones funcionan como lugares de alimentación, concretamente la intersección 2 en los tramos 14 y 15 y la intersección 4 en el tramo 17, con balances totales netos de entrada de 2291 y 1747 veh/día respectivamente (ver tablas 5.12 y 5.13).

Tabla 5.12. Balances de tráfico privado en la intersección 2 (tramos 14 y 15 del corredor)

Transversal (Intersección 2)	Entradas (veh/día)	Salidas (veh/día)	% Total Flujos	Saldo (veh/día)
C/Méndez Núñez	7280	6405	41,54	875
C/Camino de Ronda	4947	4100	27,46	847
C/Severo Ochoa	5392	4823	31,00	569
Balance total	2291			

Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2007)

Tabla 5.13. Balances de tráfico privado en la intersección 4 (tramos 17 del corredor)

Transversal (Intersección 4)	Entradas (veh/día)	Salidas (veh/día)	% Total Flujos	Saldo (veh/día)
Ctra. Armilla	7236	3933	52,55	3303
Paseo del Violón	4264	5820	47,45	-1556
Balance total	1747			

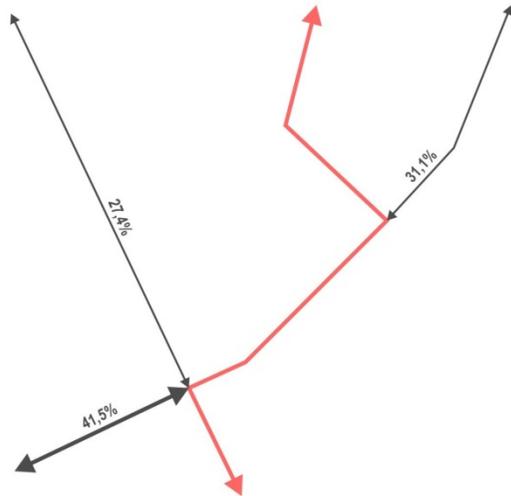
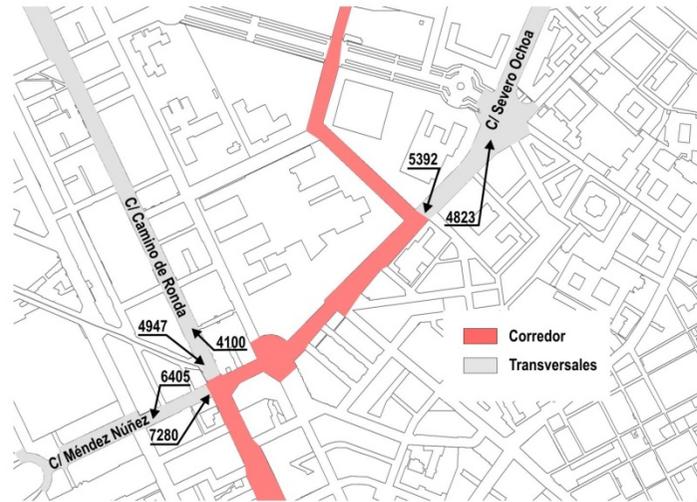
Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2007)

En el caso particular de la intersección 2 en los tramos 14 y 15 del corredor (ver figura 5.27), el saldo neto de entrada de veh/día (2291 veh/día) supone el 21,02 % de los flujos de tráfico privado del tramo 14 y el 16,69% de los flujos de tráfico privado del tramo 15. Como se puede apreciar una entrada de tráfico muy importante, que hace que estos tramos del corredor (tramos 14 y 15) a parte de las funciones urbanas comentadas en apartados anteriores, realicen también una importante labor como distribuidores de tráfico privado entre el corredor y el resto de la ciudad.

En lo que respecta a la intersección 4 (ver figura 5.27), puntualizar que su balance neto de tráfico privado a favor del corredor se traduce en un 19% del tráfico del tramo 17, por lo que de forma similar a como ocurría en la intersección 2, este tramo 17 posee también un papel clave como distribuidor de tráfico privado.

En ambas intersecciones, las principales vías de entrada de vehículos son la C/Camino de Ronda y la Ctra de Armilla, ambas con conexión directa con la circunvalación de la ciudad, lo cual las convierte a tenor de los resultados expuestos, en las vías que concentran un mayor porcentaje del total de flujos de movilidad motorizada de cada intersección, con valores del 41,54% y 52,55% del total de los flujos respectivamente.

INTERSECCIÓN 2



INTERSECCIÓN 4

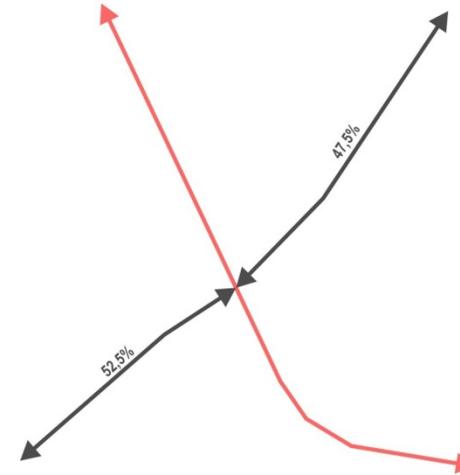
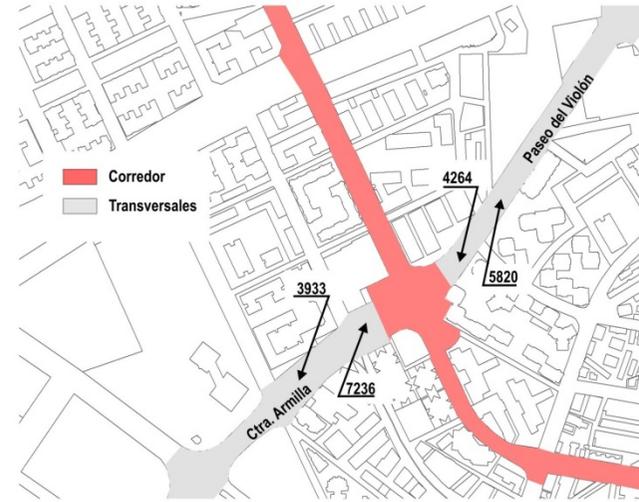


Figura 5.27. Flujos de tráfico privado en las intersecciones 2 y 4. Fuente: elaboración propia a partir del ayuntamiento de Granada. 2007

A diferencia de las anteriores, las intersecciones 1 y 3 poseen un saldo negativo respecto a los flujos de tráfico privado del corredor, es decir, son lugares de fuga. Respectivamente, dicho balance neto para las intersecciones 1 y 3 es de -2952 y -1415 veh/día. Las tablas 5.14 y 5.15 muestran los balances de tráfico de cada una de estas intersecciones.

Tabla 5.14. Balances de tráfico privado en la intersección 1 (tramos 10 y 11 del corredor)

Transversal (Intersección 1)	Entradas (veh/día)	Salidas (veh/día)	% Total Flujos	Saldo (veh/día)
Av. Andalucía (A)	4620	6958	25,06	-2338
Av. Andalucía (B)	4827	5445	22,24	-618
Ctra. Málaga	2328	1854	9,05	474
Av. Constitución	4680	4328	19,50	352
C/Camino de Ronda	5166	5988	24,15	-822
Balance total	-2952			

Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2007)

Tabla 5.15. Balances de tráfico privado en la intersección 3 (tramos 15 y 16 del corredor)

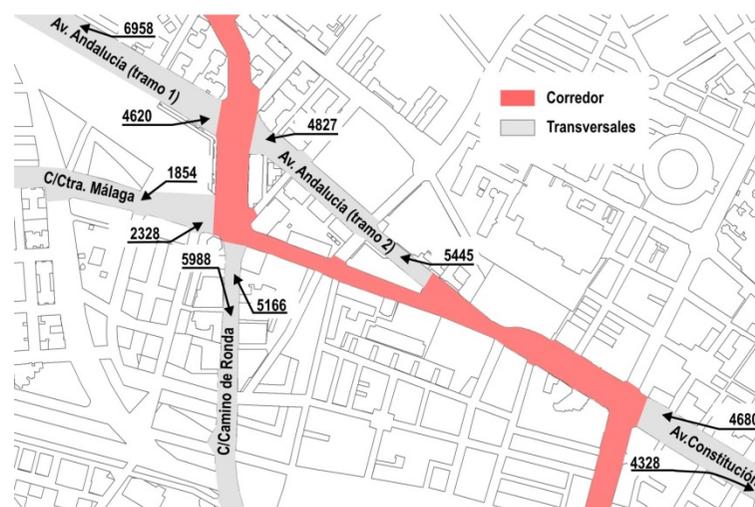
Transversal (Intersección 3)	Entradas (veh/día)	Salidas (veh/día)	% Total Flujos	Saldo (veh/día)
C/Neptuno	4122	6836	49,57	-2714
C/Recogidas	6224	4925	50,23	1299
Balance total	-1415			

Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2007)

En relación a los resultados obtenidos en la intersección 1 (ver figura 5.28), con un balance negativo de 2952 veh/día, es necesario apuntar que dicha fuga de tráfico privado supone el 24,73% del total de flujos del tramo 10 y el 39,58% de los flujos de tráfico privado del tramo 11, lo que supone una alta incidencia de la transversal sobre la movilidad motorizada del corredor, al igual que ocurría en las intersecciones 2 y 4, aunque en este caso con saldo negativo.

En lo que respecta a la intersección 3 (ver figura 5.28), su saldo negativo es de 1415 veh/día supone un 10,31% de los flujos de tráfico del tramo 15 y un 13,81% de los flujos de tráfico del tramo 16. A diferencia de los anteriores, esta intersección es la que posee una menor incidencia sobre el corredor, lo que puede ser una consecuencia de su localización geográfica entre las intersecciones 2 y 4.

INTERSECCIÓN 1



INTERSECCIÓN 3

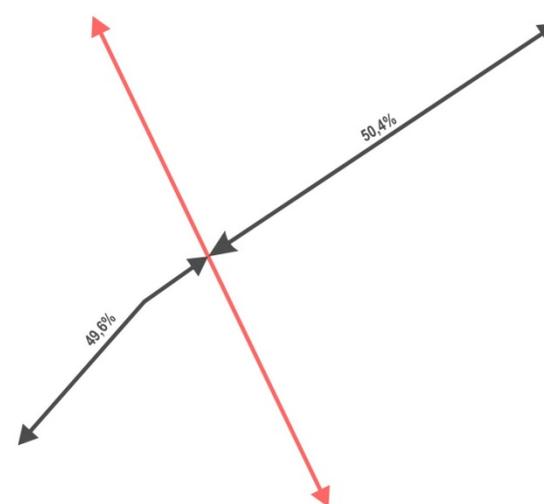
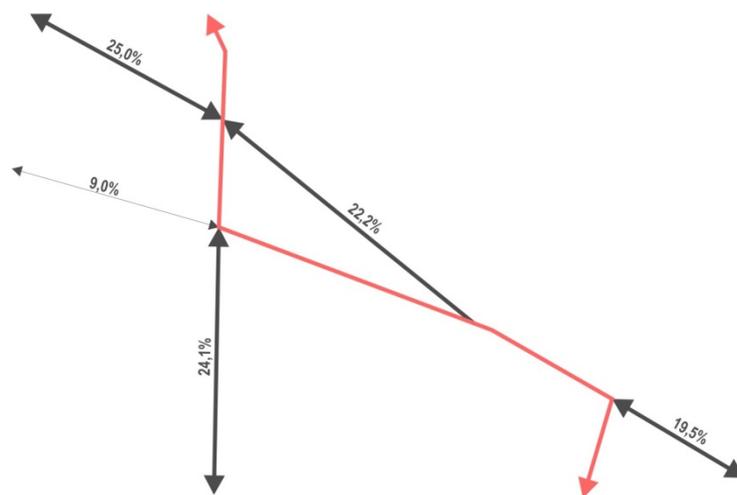
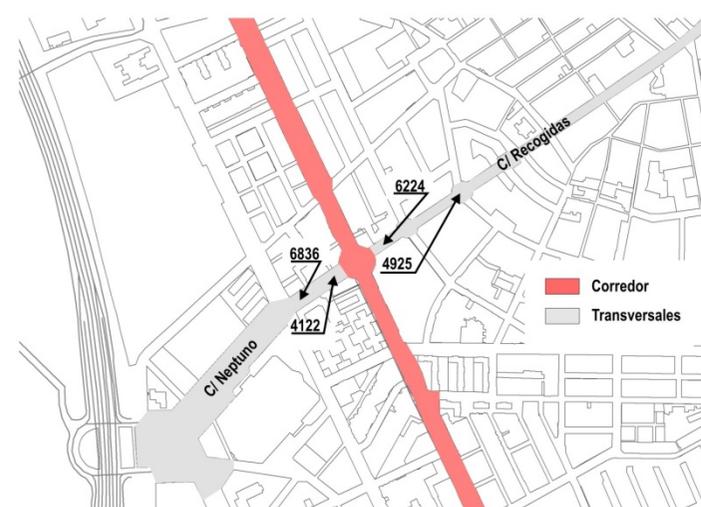


Figura 5.28. Flujos de tráfico privado en las intersecciones 1 y 3. Fuente: elaboración propia a partir del ayuntamiento de Granada. 2007

A nivel de los flujos de transporte público, la incidencia de las vías transversales seleccionadas respecto al corredor es mucho menor que en el caso del tráfico privado, especialmente porque en la mayoría de casos existe una alta coincidencia entre los itinerarios de transporte público y el propio corredor. De esta forma, las dos intersecciones con relevancia respecto a la alimentación, fuga y distribución de transporte público en el corredor son las intersecciones 1 y 2. Los balances de transporte público de estas intersecciones respecto del corredor pueden ser consultados en las tablas 5.16 y 5.17.

Tabla 5.16. Balances de transporte público en la intersección 1 (tramos 10 y 11 del corredor)

Transversal (Intersección 2)	Entradas (Bus/día)	Salidas (Bus/día)	% Total Flujos	Saldo (Bus/día)
Av. Andalucía (A)	144	96	7,14	48
Av. Andalucía (B)	538	691	36,57	-153
Ctra. Málaga	154	202	10,57	-48
Av. Constitución	595	442	30,86	153
C/Camino de Ronda	250	250	14,86	0

Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2007)

Tabla 5.17. Balances de transporte público en la intersección 2 (tramos 14 y 15 del corredor)

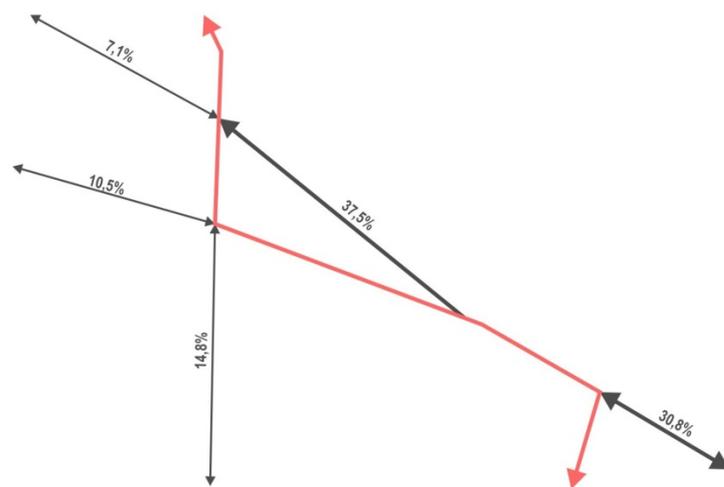
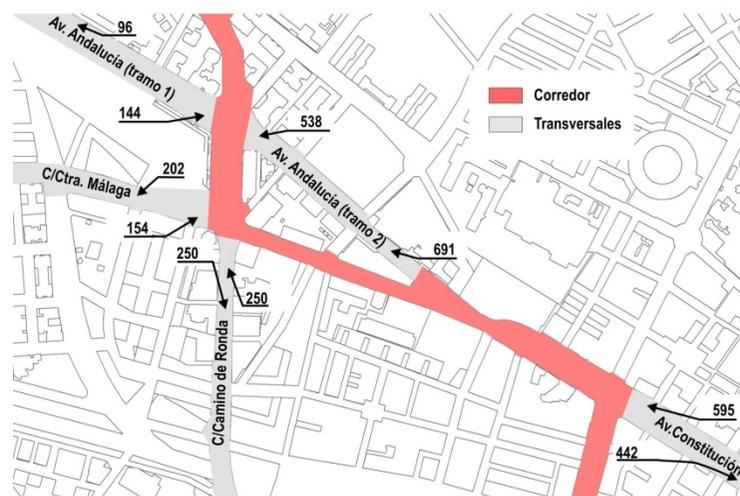
Transversal (Intersección 2)	Entradas (veh/día)	Salidas (veh/día)	% Total Flujos	Saldo (veh/día)
C/Méndez Núñez	0	0	0	0
C/Camino de Ronda	403	326	73,08	76,8
C/Severo Ochoa	96	173	26,92	-76,8

Fuente: elaboración propia a partir del Ayuntamiento de Granada (2007)

A la vista de los resultados expuestos, destaca especialmente la sección B de la Av. Andalucía junto a la Av. Constitución como las dos vías transversales con mayor influencia sobre el transporte público del corredor en la intersección 1 (ver figura 5.29), con porcentajes del 36,57% y 30,86% respectivamente. La fuerte influencia de estas transversales sobre los flujos de transporte público del corredor no solo se debe a que canalizan un importante número de líneas de autobuses urbanos, sino también una gran parte de las líneas de autobús metropolitano que alimentan el norte del Área Metropolitana de Granada.

Respecto a la intersección 2 (ver figura 5.29), es necesario destacar que la C/Méndez Núñez no posee ninguna influencia sobre los flujos de transporte público del corredor, ya que la principal función de esta vía transversal está destinada a la conexión del tráfico privado de la ciudad con la circunvalación de ésta. Por lo tanto, la vía transversal con mayor incidencia es la C/Camino de Ronda con un porcentaje sobre el total de flujos de transporte público del 73,08 %.

INTERSECCIÓN 1



INTERSECCIÓN 2

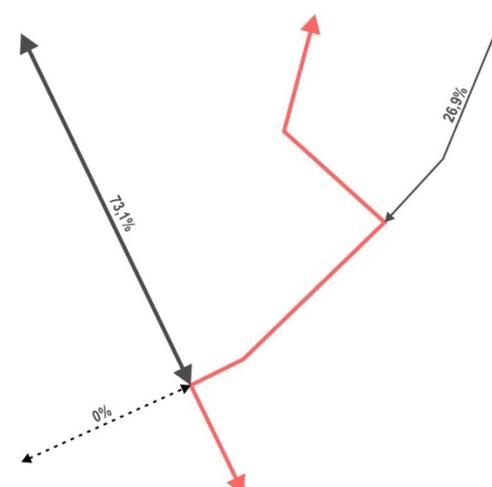
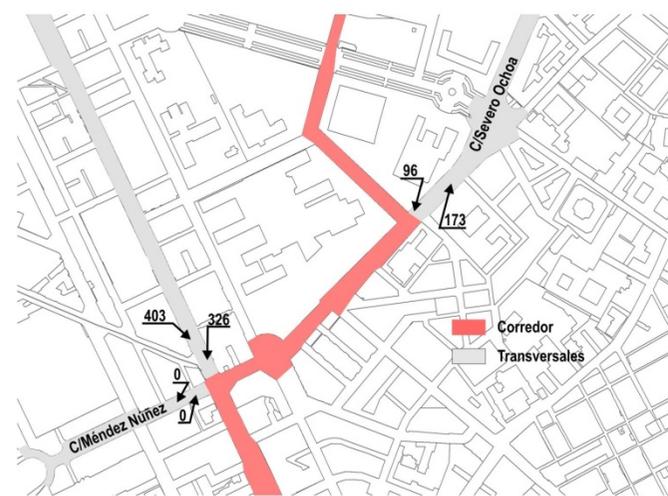


Figura 5.29. Flujos de transporte público en las intersecciones 1 y 2. Fuente: elaboración propia a partir del ayuntamiento de Granada. 2007

A modo de síntesis, destacar que las transversales evaluadas muestran una alta incidencia sobre tráfico del corredor, especialmente en lo referente al tráfico privado. En este sentido, destacan como vías principales de alimentación la Ctra. Armilla y la C/ Recogidas, con aportes en promedio de 2301veh/día. Por el contrario, como transversales de fuga cabe mencionar la Av. Andalucía, C/ Neptuno y Paseo del Violón, cuyos saldos negativos de veh/día en valores promedio son de 2205veh/día, aproximadamente un 22% del flujo de tráfico privado del corredor en estos lugares. Finalmente, la C/Camino de Ronda destaca por su importancia como transversal distribuidora de tráfico entre los tramos 10 y 15 del corredor, cuyos flujos suponen un 16% de la circulación de vehículos privados por tales tramos.

Al agrupar dichas transversales en función de su intersección con el corredor (ver figura 5.26), los resultados muestran como las intersecciones 2 y 4 localizadas respectivamente en los tramos 15 y 17 del corredor, actúan como intersecciones de alimentación del tráfico privado, al contrario que las intersecciones 1 y 3 localizadas en los tramos 10 y 16 respectivamente, las cuales poseen funciones de fuga.

En relación con los flujos de transporte público, cabe destacar que su incidencia sobre los niveles de movilidad motorizada del corredor son inferiores que los obtenidos en el caso del tráfico privado, especialmente consecuencia de la alta coincidencia de los principales itinerarios de transporte público con el propio corredor. No obstante, destacan como transversales de alimentación la Av. Constitución y Camino de Ronda, ambas con un saldo positivo de 154 y 77 autobuses/día respectivamente, mientras que como transversales de fuga destacan el tramo B de la Av. Andalucía (-154 autobuses/día), junto con la C/Severo Ochoa con -77 autobuses/día.

5.3.2.2.2 Ejes transversales como itinerarios de circulación

El objetivo central en este apartado es el de analizar la función de las diferentes vías transversales al corredor como itinerarios de circulación, bien a través de itinerarios peatonales o de itinerarios motorizados.

Para ello, se estudiarán diferentes elementos de la estructura urbana en torno a la transversal, que pueden ser reveladores de los aspectos mencionados. Tales elementos son:

- *Espacio público en torno a la transversal* como elemento articulador de itinerarios peatonales. Identificando qué transversales funcionan como ejes de espacio público
- *Actividad comercial y servicios en torno a la transversal*, como elemento articulador de itinerarios peatonales, por ejemplo a partir de la identificación de rutas comerciales
- *Sectores de actividad industrial en torno a la transversal*, como elemento articulador de itinerarios motorizados, especialmente si no tienen continuidad con el entorno urbano del corredor.
- *Centros comerciales de alcance metropolitano en torno a la transversal*, como elemento generador de itinerarios motorizados.

La tabla 5.18 recoge los resultados obtenidos para cada vía transversal.

Tabla 5.18. Espacio público, actividades comerciales, actividad industrial y grandes centros comerciales en torno a vías transversales

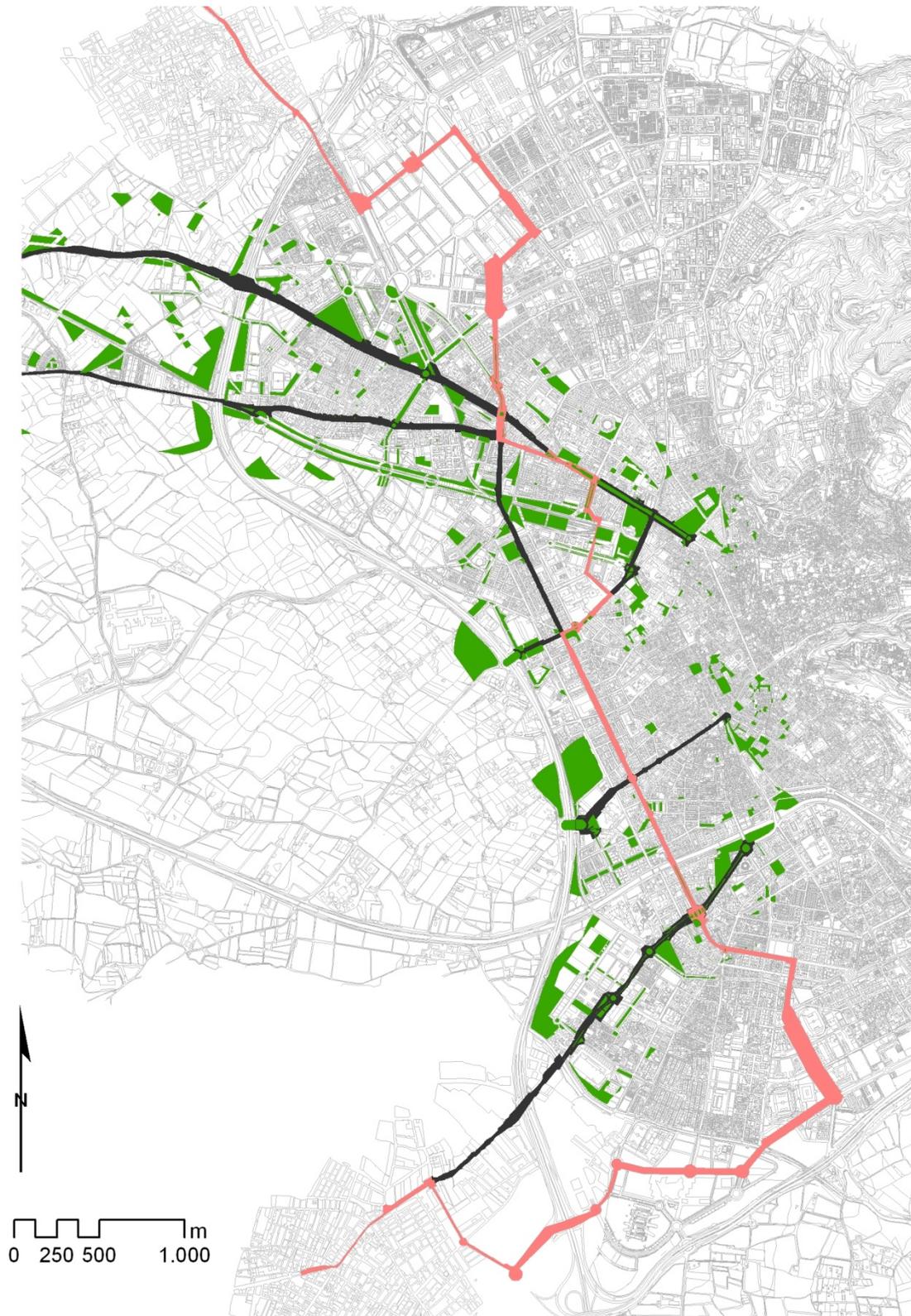
Transversales	Espacio libre (Ha/Km)	Locales Comerciales (Nº Locales/Km)	Supf.Ind/Km	Grandes centros comerciales	Longitud transversal (Km)
Av. Andalucía (A)	3,92	1,24	20,63	No	3,23
Av. Andalucía (B)	1,00	18,18	0	No	0,33
Ctra. Málaga	5,67	1,13	8,28	No	3,83
Av. Constitución	14,85	24,62	0	No	0,65
C/ Camino de Ronda	2,06	6,61	0	No	1,21
C/ Méndez Núñez	1,76	37,84	0	Si	0,37
C/ Severo Ochoa	12,18	21,57	0	No	0,51
C/ Neptuno	5,63	50,00	0	Si	0,4
C/ Recogidas	7,16	40,63	0	No	0,64
Ctra. Armilla	4,75	3,14	15,03	Si	2,23
Paseo del Violón	12,47	31,91	0	No	0,47

Fuente: elaboración propia

Con excepción de la C/Camino de Ronda que no destaca en ninguno de los elementos evaluados, el resto de vías transversales poseen funciones precisas respecto del corredor en base a los elementos previamente estudiados.

Comenzando por aquellas vías transversales que destacan como ejes de espacio público y, por lo tanto, como itinerarios peatonales, destaca fundamentalmente la Av. Constitución, C/Severo Ochoa y Paseo del Violón (ver figura 5.30), con ratios de espacio público de 14,85 Ha/Km, 12,18 Ha/Km y 12,47 Ha/Km respectivamente. Es importante el caso particular de la Av. Constitución y C/Severo Ochoa, ya que se cruzan espacialmente dando lugar a uno de los ejes de espacio público más importantes en torno a las transversales del corredor (ver figura 5.31), teniendo como hitos destacados los Jardines del Campus Universitario Fuentenueva, el Parque Fuentenueva, el Paseo de la Av. Constitución, conjuntamente con los Jardines del Triunfo.

El otro eje destacado de espacio público se constituye a partir de la intersección del Paseo del Violón con el tramo 17 del corredor, destacando las zonas exteriores del Palacio de Congresos y Exposiciones de Granada, conjuntamente con el paseo de la ribera del Río Genil.

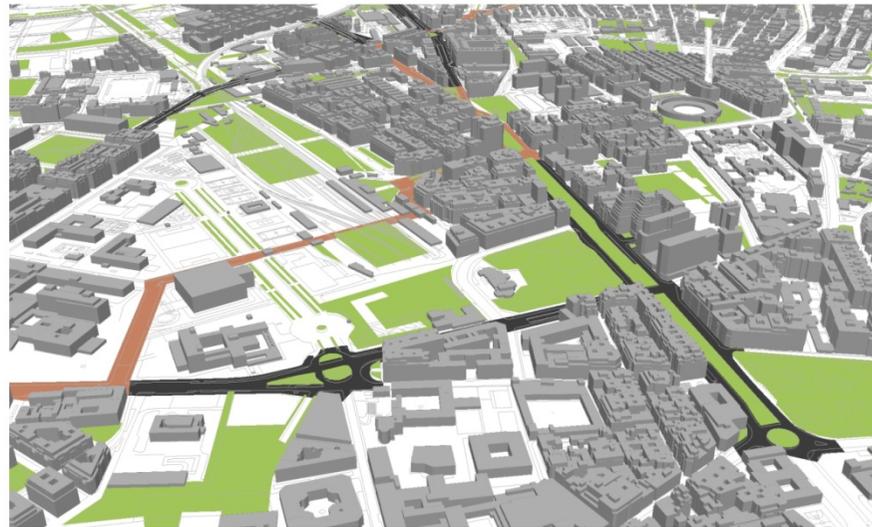


Espacio público en torno a transversales del corredor

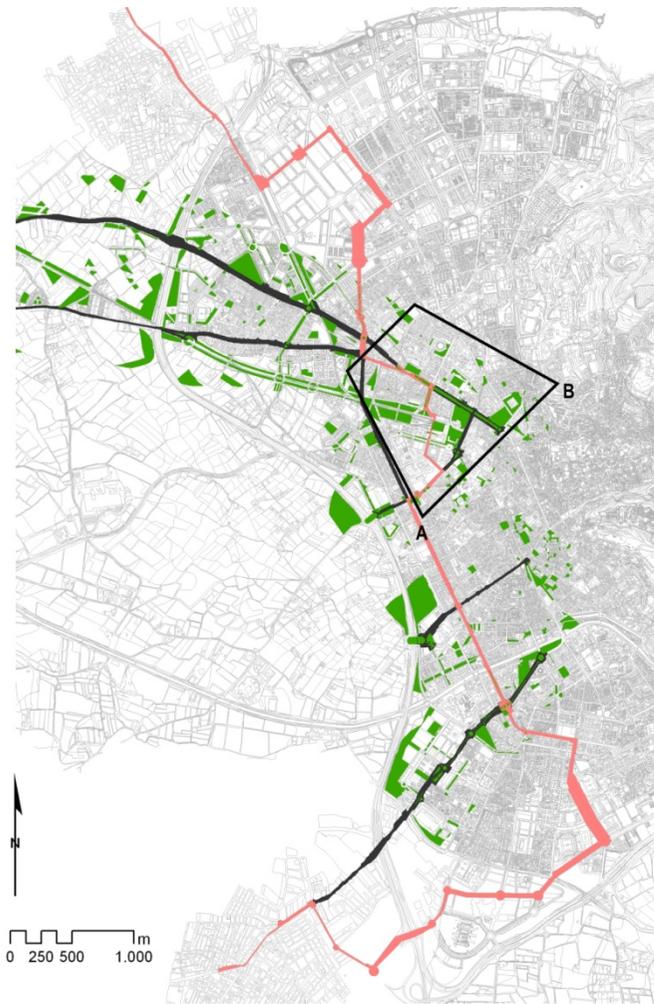
 Espacio público

Figura 5.30. Espacio público en torno a las transversales. Fuente: elaboración propia

Eje de espacio público. C/Severo Ochoa y Av. Constitución



A



B

0 250 500 1.000 m

Usos del suelo en torno a transversales

■ Espacio público

Figura 5.31. Eje de espacio público: C/Severo Ochoa-Av. Constitución. Fuente: elaboración propia

El segundo elemento analizado como factor promotor de itinerarios peatonales es el nivel de actividad comercial en torno a la transversal. Destaca la transversal número 6 formada a partir de las vías C/Neptuno y C/Recogidas, cuyos de actividad urbana por Km de vía transversal alcanzan valores de 50 y 40,63 activ/Km respectivamente. Así, dichas transversales constituyen la principal ruta comercial del corredor, reforzada por los elevados niveles de actividad comercial existentes en los tramos 15 y 16 (ver apartado 5.3.1.2), que son los tramos del corredor interceptados por dicha transversal (ver figuras 5.32 y 5.33).

En relación con la identificación de itinerarios motorizados, tanto la Ctra. Málaga como la Av. Andalucía son vías transversales al corredor, que permitan conectar a éste con centros industriales de relevancia en el extremo oeste del ámbito de estudio y sin continuidad con el corredor, lo que refuerza el acceso a estos lugares a través de modos motorizados (ver figura 5.34). Junto a estas dos vías transversales, en la zona sur del corredor destaca la transversal Ctra. Armilla, que igualmente permite conectar el corredor con zonas industriales de similares características a las previamente mencionadas, constituyendo igualmente uno de los principales itinerarios motorizados en el ámbito de estudio (ver figura 5.34). La ocupación de suelo con funciones industriales en cada una de las tres transversales mencionadas es de 20,63 Ha/Km en la sección A de la Av. Andalucía, 8,28 Ha/Km en la Ctra. Málaga y, finalmente, 15,03 Ha/Km en el caso de la Ctra. Armilla.

El último de los elementos evaluados ha sido la presencia de grandes centros comerciales de relevancia metropolitana en las transversales estudiadas, considerando que la existencia de tales centros comerciales activaría la opción de las vías transversales como itinerarios de movilidad motorizada. A este respecto, han sido identificados un máximo de 3 centros comerciales con estas características, localizados en las transversales: Ctra. Armilla, C/Recogidas y C/Méndez Núñez (ver figura 5.34).

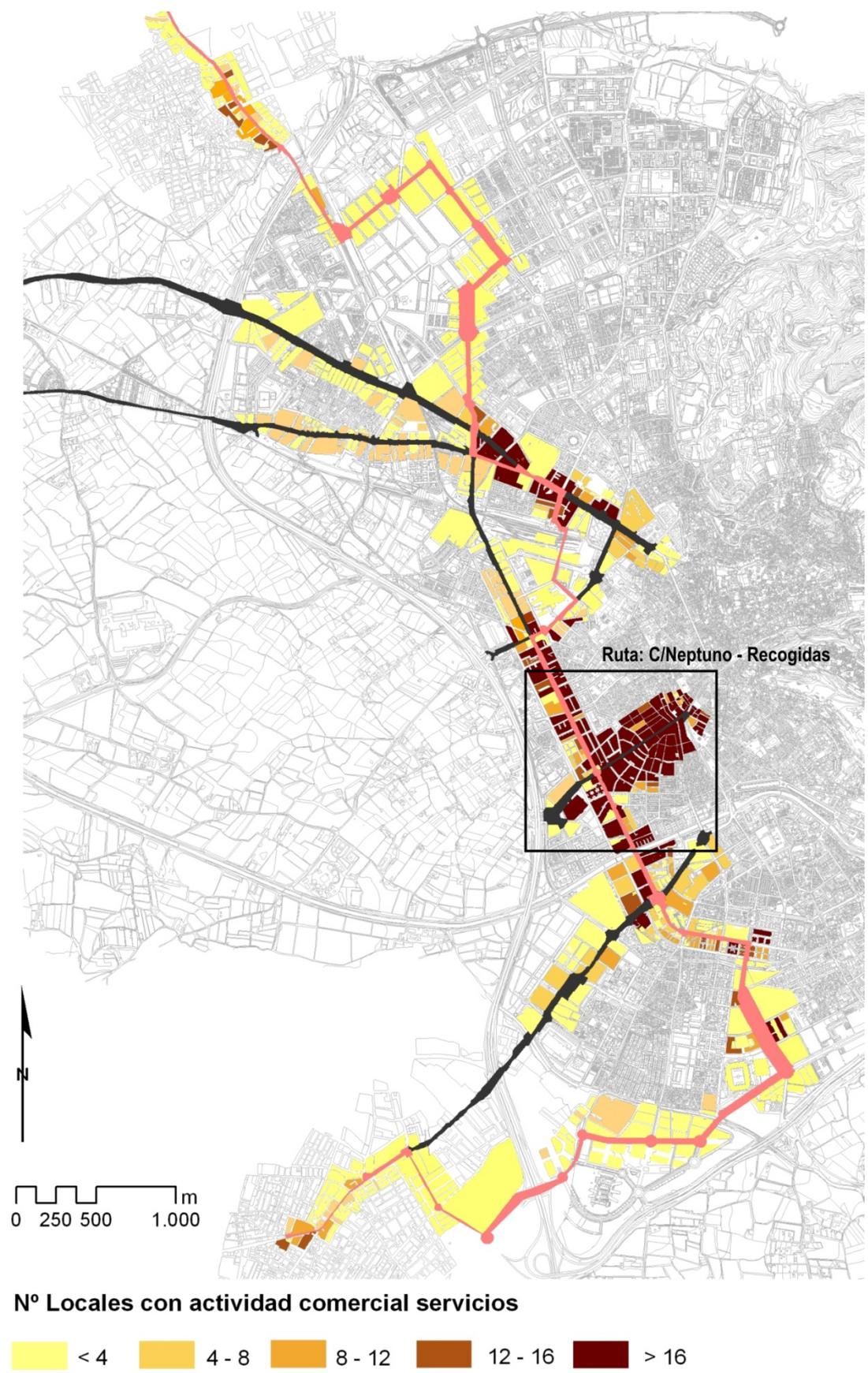


Figura 5.32. Actividades urbanas en torno a las transversales del corredor. Fuente: elaboración propia

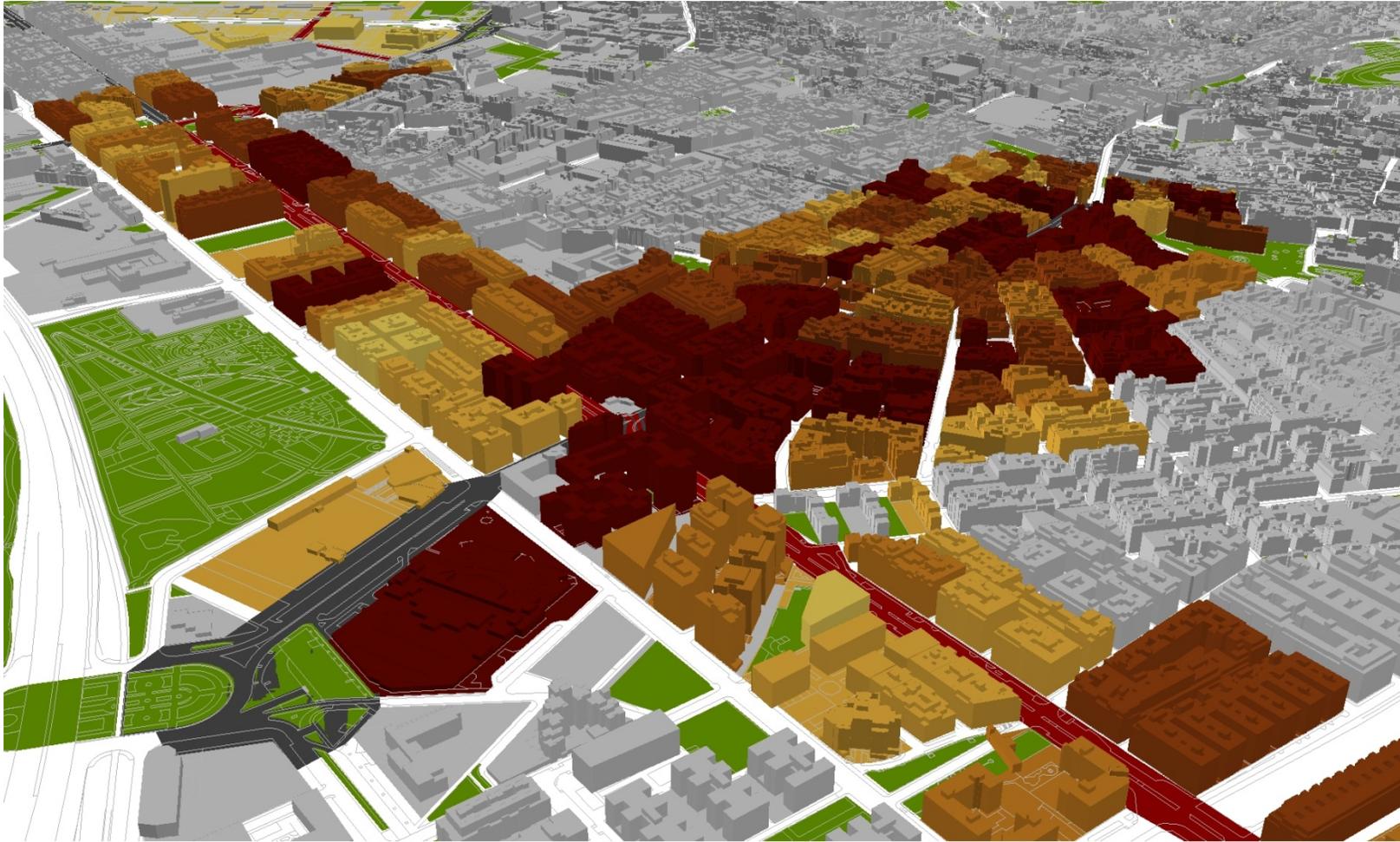
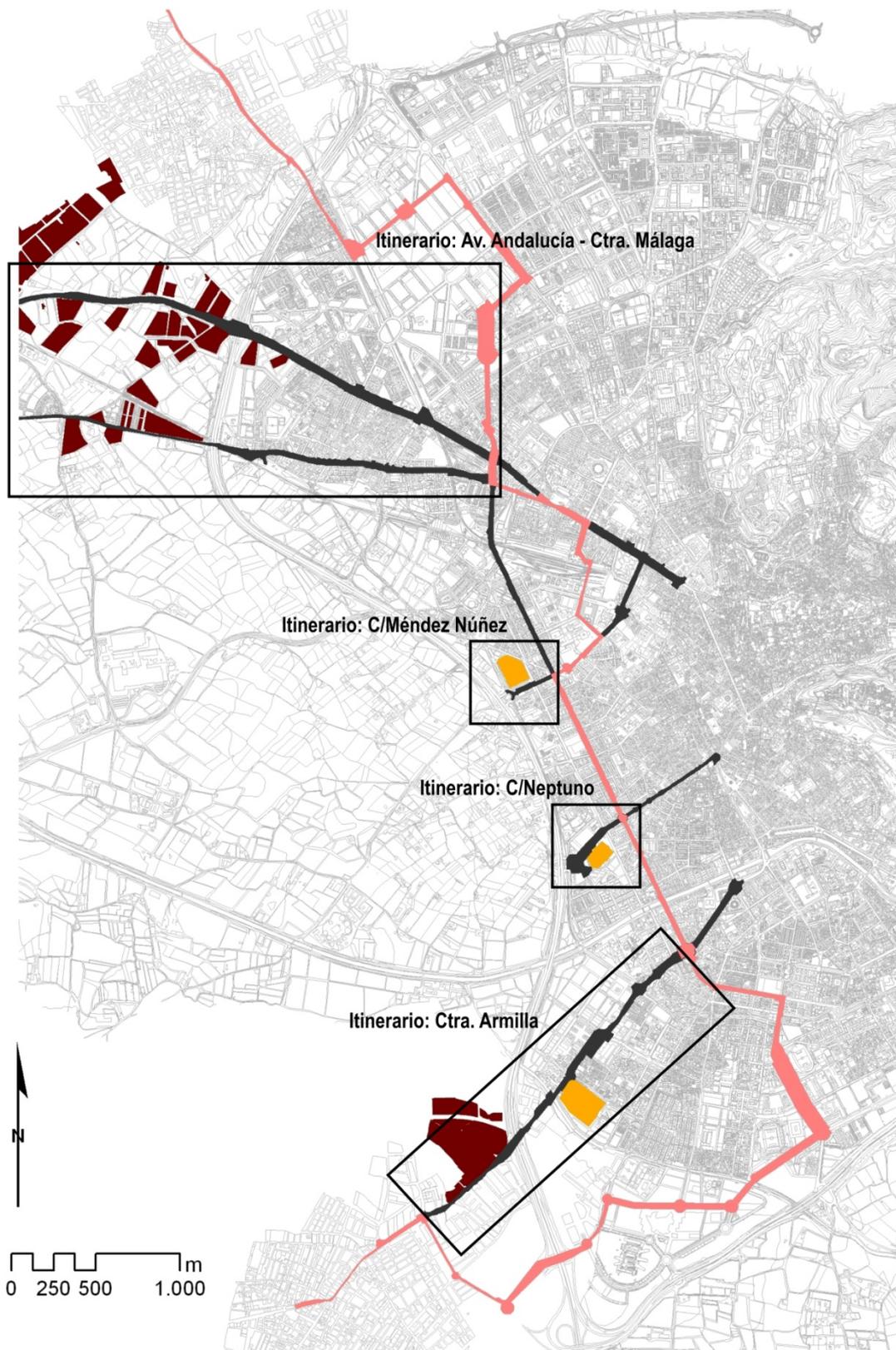


Figura 5.33. Ejemplo de ruta comercial en la transversal de la C/ Neptuno y Recogidas. Fuente: elaboración propia a partir de trabajo de campo (2010)



Usos del suelo en torno a transversales

- Actividad industrial
- Centros comerciales

Figura 5.34. Áreas de actividad industrial y grandes centros comerciales en torno a las transversales. Fuente: elaboración propia

5.3.2.2.3 Ejes transversales e identificación de “entornos de movilidad”

En base al análisis previamente mostrado, la influencia de los ejes transversales en la identificación de entornos de movilidad estará basada en dos posibles factores de influencia:

- a) *la movilidad motorizada*, bien a través de los resultados obtenidos en el balance de tráfico privado y transporte público recogidos en el apartado 5.3.2.2.1, o bien a través de la función de la transversal como itinerarios motorizados.
- b) *la movilidad por proximidad*, especialmente en aquellas transversales que suponen itinerarios peatonales o de proximidad, bien a través del sistema de espacio público o por medio de su nivel de actividad comercial.

De esta forma, la tabla 5.19 sintetiza el tipo de influencia predominante de cada transversal a la hora de identificar entornos de movilidad.

Tabla 5.19. Influencia de las vías transversales en la definición de *entornos de movilidad*

TRANSVERSALES	VÍAS	INFLUENCIA			
		Mov. motorizada		Mov. proximidad	
Transversal 1	Av. Andalucía (sección A)	●	-25,06% tráfico intersección 1 -Conexión con áreas industriales (20,63 Ha. Ind/Km transversal)		
	Av. Andalucía (sección B)	●	-22,24% tráfico intersección 1		
Transversal 2	Ctra. de Málaga	●	-9,05% tráfico intersección 1 -Conexión con áreas industriales (8,28 Ha. Ind/Km transversal)		
Transversal 3	Av. Constitución			●	-14,85 Ha esp. público/Km transv.
Transversal 4	C/Camino de Ronda	●	-24,15 % tráfico intersección 1 y 2		
Transversal 5	C/Méndez Núñez	●	-41,45% tráfico intersección 2 -Conexión con centro comercial		
	C/Severo Ochoa	●	-31% tráfico intersección 2	●	-21,57 Ha esp. público/Km transv.
Transversal 6	C/Neptuno	●	-49,57% tráfico intersección 3 -Conexión con centro comercial	●	-50 Act/Km transv
	C/Recogidas			●	-40,63 Act/Km transv

Transversal 7	Ctra. Armilla	●	-52,55% tráfico intersección 4 -Conexión con centro comercial		
	C/Paseo del Violón	●	-47,45% tráfico intersección 4	●	-21,57 Ha esp. público/Km transv. -31,99 Act/Km transv

A tenor de los resultados mostrados en la tabla 5.19, se considera que todas las transversales estudiadas tienen una influencia determinante sobre el funcionamiento del corredor, de ahí que sea necesario considerar a todas ellas en la posterior identificación de *entornos de movilidad*. Algunas de las vías transversales analizadas, como por ejemplo, la C/Severo Ochoa, C/Neptuno y Paseo del Violón destacan por tener una alta influencia tanto a nivel de la movilidad motorizada del corredor como no motorizada. Mientras que la mayoría de las transversales influyen en el corredor a nivel de los flujos de movilidad motorizados, lo que refuerza el papel de estos tramos como lugares de tránsito urbano de cara a la definición de *entornos de movilidad* (ver ejemplos de las transversales 1, 2, 4, la C/Méndez Núñez en la transversal 5 o la Ctra. Armilla en la transversal 7).

5.3.3 “Entornos de movilidad” en el corredor

Una vez interpretados los resultados de cada indicador respecto de los *vectores de movilidad* propuestos en la sección metodológica (dimensión local del medio urbano, especialización urbana y tránsito urbano), este apartado aborda la identificación y definición de *entornos de movilidad*.

En consecuencia con lo anterior, han sido definidos 5 *entornos de movilidad*: (i) Entorno de proximidad y alcance local; (ii) Entorno de proximidad y distribución circulatoria; (iii) Entorno vinculado a estaciones de transporte público; (iv) Entorno de circulación motorizada; (v) Entorno de centralidad metropolitana.

Las figuras 5.35 y 5.36 muestran el proceso metodológico aplicado y su finalización a través de la identificación de los *entornos de movilidad* enunciados, conjuntamente con su localización geográfica en el corredor.

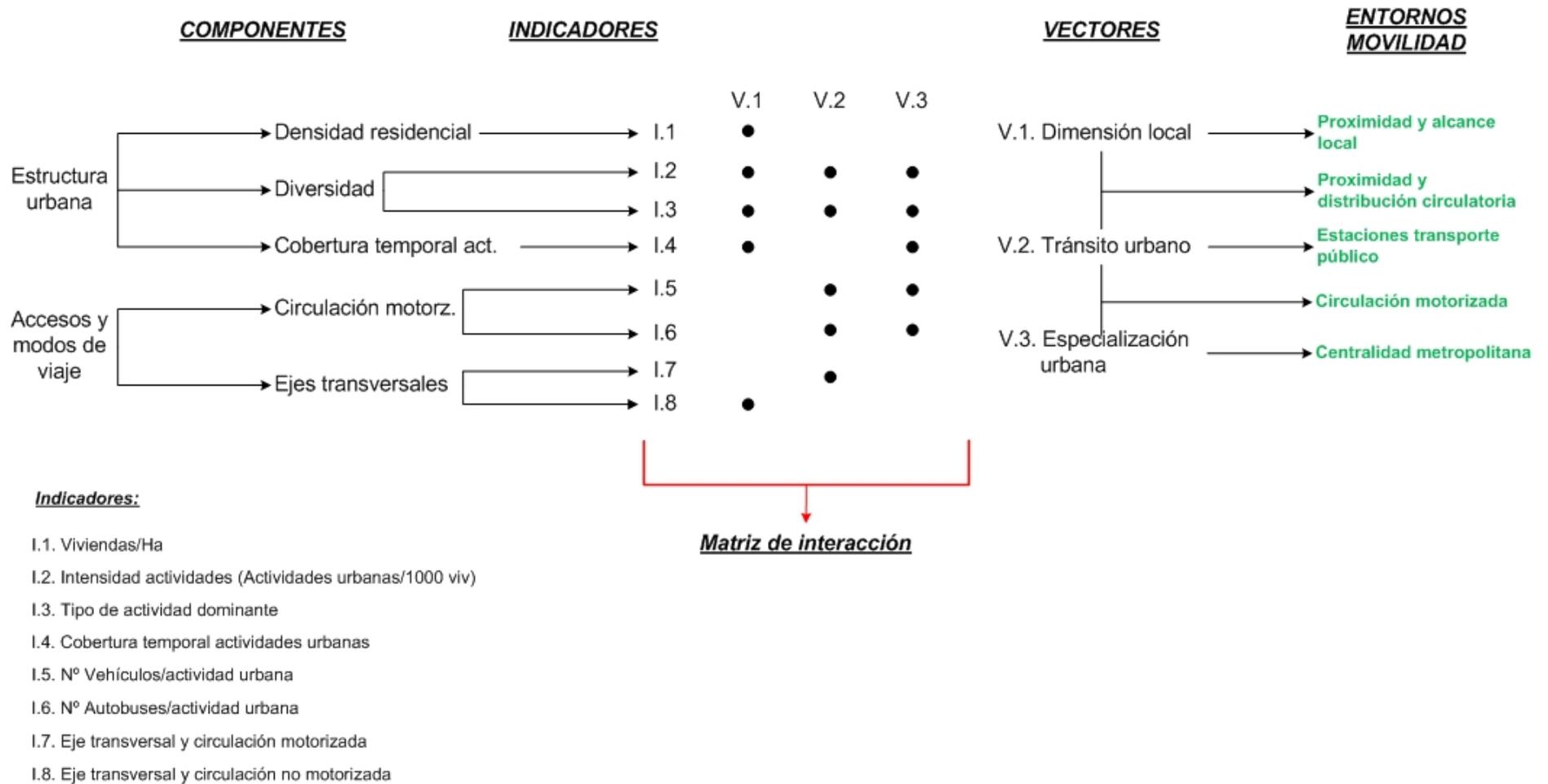


Figura 5.35. Proceso metodológico y entornos de movilidad identificados. Fuente: elaboración propia

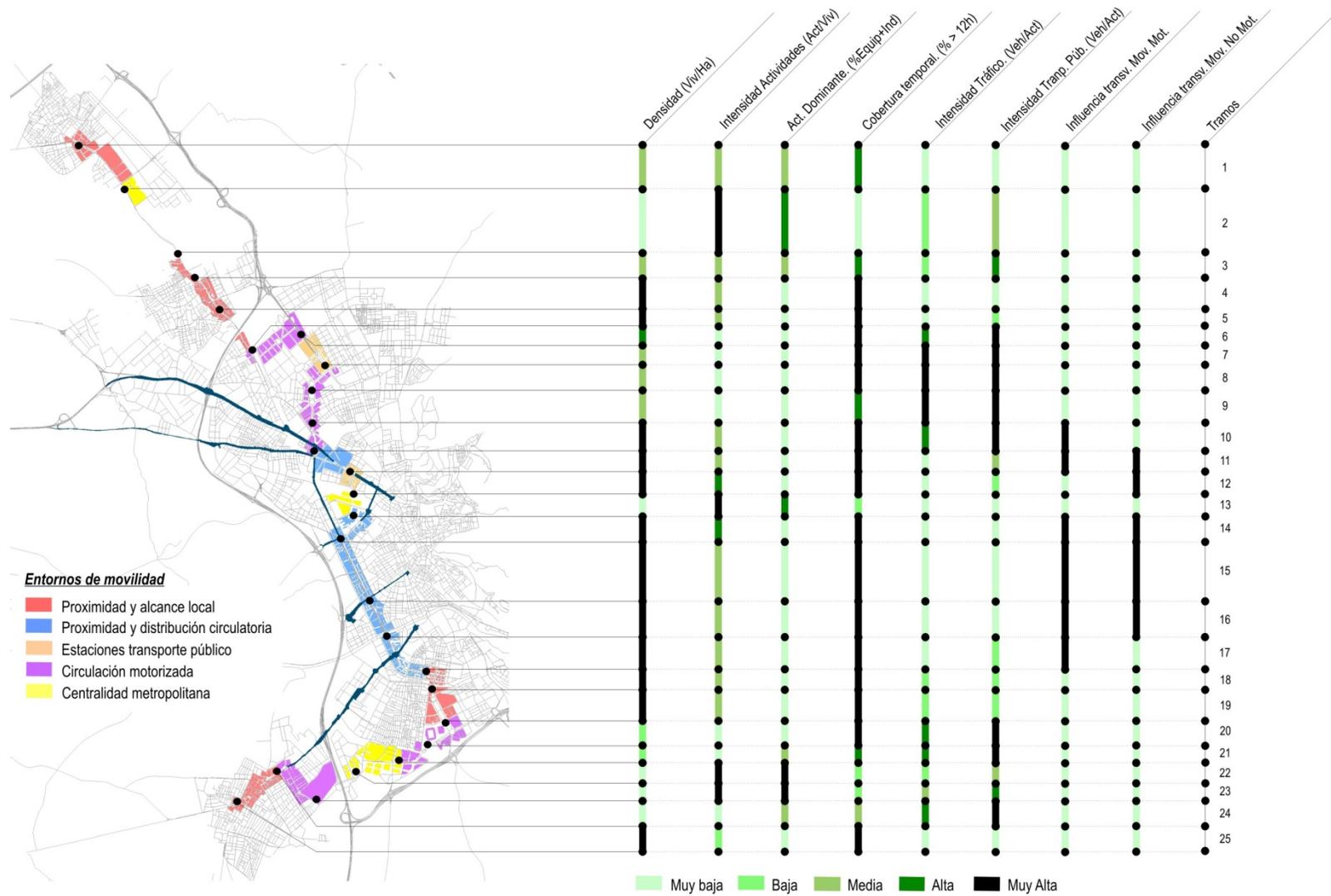


Figura 5.36. Representación espacial de los entornos de movilidad identificados. Fuente: elaboración propia

5.3.3.1 Entorno de proximidad y alcance local

El *entorno de proximidad y alcance local* hace referencia a aquellos tramos del corredor cuya movilidad está caracterizada por una fuerte dimensión local del medio urbano y, por lo tanto, la mayoría de sus flujos de movilidad deberían encontrarse altamente mediatizados por demandas locales del entorno inmediato del corredor. La componente de proximidad es muy relevante, por lo que una gran parte de las necesidades de la población residente podrían ser cubiertas sin necesidad de utilizar modos motorizados, de ahí, que no sean espacios que destaquen por ser centros de atracción de movilidad a nivel metropolitano, como así tampoco, espacios urbanos caracterizados por una alto tránsito urbano.

La ausencia de ejes transversales de relevancia hace que este *entorno* no esté sometido a altos niveles de circulación motorizada como previamente se ha indicado, tampoco por itinerarios peatonales de relevancia. De esta forma, una integración eficiente de sistemas de transporte público pasaría por recuperar espacio viario del corredor para el peatón, lo que exige también, a nivel de fomentar un uso más peatonal y no motorizado del entorno, altos niveles de calidad ambiental atmosférica, por ejemplo, en lo relativo al ruido o la calidad del aire local. Así, la búsqueda de sinergias intermodales deberían estar orientadas a favorecer el intercambio peatón-bicicleta-autobús-metro ligero, restringiendo en la medida de posible el acceso de vehículos privados. Desde un punto de vista ambiental y dados los niveles de acceso motorizado registrados, la eficiencia ambiental de la movilidad en términos de energía o superficie viaria utilizada, no sería un aspecto tan prioritario o relevante como en otros *entornos de movilidad*, donde los niveles de tránsito motorizado son más intensos.

Este *entorno de movilidad* se localiza de forma mayoritaria en el centro urbano de los municipios circundantes a Granada y que forman parte del corredor. Consecuentemente, se localiza en el tramo 1 del corredor en el centro urbano de Albolote, tramos 3, 4 y 5 a lo largo del municipio de Maracena y tramo 25 en el centro urbano de Armilla. Junto a estos tramos, ya en la ciudad de Granada, han sido localizados dos tramos más, concretamente los tramos 18 y 19, donde a pesar de que el resultado de sus indicadores no es tan nítido como en los casos anteriores, tales resultados les hacen estar más próximos de este tipo de *entorno* que de cualquier otro de los identificados en el corredor.

Los indicadores utilizados muestran que son lugares con una alta o muy alta densidad residencial (≥ 95 Viv/Ha), con excepción del tramo 1 en Albolote y del tramo 3 en Maracena, consecuencia de su propia estructura urbana de municipio rural con densidades residenciales en torno a las 35 Viv/Ha. La intensidad de actividades no residenciales es media-alta en todos los casos, superando las 100 act/1000 viviendas, con un fuerte predominio del comercial-servicios sobre el resto de actividades no residenciales, a la vez que cuentan con una amplia cobertura de actividades en prácticamente todas las franjas horarias del día. En cuanto a los modos de acceso, son espacios con bajos niveles de tránsito motorizado respecto de la actividad no residencial, con valores promedio de 46,02 veh/actividad y 4,30 autobuses/actividad al día.

5.3.3.2 Entorno de proximidad y distribución circulatoria

El *entorno de proximidad y distribución circulatoria* hace referencia a aquellos tramos del corredor cuya movilidad no solo está caracterizada por una fuerte dimensión local del medio urbano, como ocurría en el caso anterior, sino que además tienen funciones de distribución de tráfico entre diferentes lugares del corredor, o bien entre el corredor y el resto del sistema urbano. A la vista de lo anterior, se podría decir que sus flujos de movilidad se encuentran mediatizados tanto, por demandas locales del entorno inmediato del corredor, como por el carácter distribuidor de tráfico y transporte público que tiene este espacio, consecuencia en la mayoría de casos de la conexión con ejes transversales relevantes. La componente de proximidad es importante en este entorno, por lo que una gran parte de las necesidades de la población residente pueden ser cubiertas sin necesidad de utilizar modos motorizados, al mismo tiempo que su localización en la ciudad les convierten en lugares con un alto tránsito motorizado que no responden necesariamente a tales demandas locales, sino a su función como vías distribuidoras de tráfico.

Todos los tramos del corredor donde se identifican este *entorno de movilidad* poseen la influencia de vías transversales de relevancia, que le otorgan una función de distribución de la movilidad del corredor, bien a través de sus itinerarios motorizados, o bien a través de sus itinerarios peatonales. De esta forma, una integración eficiente de sistemas de transporte público pasaría por la búsqueda de un equilibrio entre sus demandas locales y sus funciones distribuidoras. La búsqueda de sinergias intermodales debería estar también orientada el vehículo privado, a diferencia del *entorno de movilidad* anterior, aunque fomentando el uso mayoritario del transporte público. Desde un punto de vista ambiental, son los entornos de movilidad con una exigencia más integral de los diferentes elementos abordados en esta investigación, dado su protagonismo respecto de los flujos de movilidad del corredor a todos los niveles.

Según se puede ver en la figura 5.36, este entorno de movilidad se localiza en el centro del corredor, siendo el entorno predominante en el tramo 11 localizado entre las paradas Villarejo y Caleta, junto a los tramos 14, 15, 16 y 17, entre las paradas Universidad e Hípica, todos ellos localizados en la ciudad de Granada. Su posición central es un aspecto determinante en esta doble función del entorno, por un lado con fuerte carácter local, tal y como ocurría en los centros urbanos de los municipios circundantes a Granada, pero por otro lado, con unos niveles muy elevados de circulación motorizada, especialmente consecuencia de la influencia que ejercen los ejes viarios transversales estudiados.

Los indicadores utilizados muestran que son lugares con una alta o muy alta densidad residencial (≥ 86 Viv/Ha). La intensidad de actividades no residenciales es alta en todos los casos superando las 120 act/1000 viviendas, con un fuerte dominio del comercial-servicios sobre el resto de actividades no residenciales, a la vez que cuentan con un amplio espectro de actividades en prácticamente todas las franjas horarias del día. En cuanto a los modos de acceso, es preciso indicar que son espacios con bajos niveles de tránsito urbano motorizado respecto del nivel de actividad no residencial, con valores promedio de 36,34 veh/actividad y 4,04 autobuses/actividad al día.

5.3.3.3 Entorno de circulación motorizada

El *entorno de circulación motorizada* hace referencia a aquellos tramos del corredor cuya movilidad está caracterizada por una muy débil dimensión local del medio urbano, aspecto que refuerza su condición como lugares de tránsito y/o circulación. De esta forma, la componente de proximidad es poco relevante en la mayoría de casos, por lo que una gran parte de las necesidades de la población residente no pueden ser satisfechas en ese mismo espacio, de ahí, que desde el punto de vista de la movilidad, se conviertan en lugares destinados exclusivamente al tránsito o circulación motorizada desde unos lugares a otros del corredor, o entre el corredor y el resto del sistema urbano, situación que en muchos casos se ve reforzada por su función como itinerarios circulatorios en el diseño de la propia ciudad.

La conexión de estos tramos con ejes transversales de relevancia puede ser un aspecto clave que refuerce su función como tramos de “paso”, situación que ocurre, por ejemplo, en el tramo 10 del corredor. De esta forma, una integración eficiente de los sistemas de transporte público debería estar especialmente encaminada a incrementar la eficiencia de la movilidad en estos tramos. Así, las opciones de intermodalidad se verían reforzadas en la relación vehículo privado-transporte público, perdiendo interés las opciones de intermodalidad con modos no motorizados. Las demandas ambientales de este entorno estarían centradas principalmente en el incremento de la eficiencia en el consumo de recursos y energía, no siendo tan relevantes en otros aspectos más trascendentes cuando el espacio urbano tiene una importante dimensión local, por ejemplo, en lo que se refiere a la recuperación de espacio para el peatón.

El *entorno de circulación motorizada* se localiza mayoritariamente en la ciudad de Granada, concretamente en el tramo 6 entre las paradas de Cerrillo Maracena y Ctra. de Jaén, consecuencia esencialmente del carácter reciente de este lugar de la ciudad, lo que se traduce en un tejido urbano poco maduro y poco complejo, a la vez que parcialmente deshabitado. Junto al tramo 6, otros lugares de la ciudad de Granada donde se identifica este entorno de movilidad son los tramos 8, 9 y 10 entre las paradas Estación de Autobuses y Villarejo y los tramos 20 y 21 entre las paradas Palacio de Deportes y Campus de la Salud I, siendo espacios urbanos con una alta especialización residencial y, por lo tanto, con muy bajo nivel de actividades no residenciales. Fuera de la ciudad de Granada, el tramo 24 entre las paradas Nevada y Granada, manifiesta también un entorno de movilidad basado en la circulación motorizada, con características de especialización residencial similares a las comentadas previamente.

Los indicadores utilizados muestran que por lo general son lugares con baja o muy baja densidad residencial (<30 Viv/Ha), con excepción del tramo 6 (52,43 Viv/Ha) en la zona norte de Granada y el tramo 10 (133,28 Viv/Ha). La intensidad de actividades no residenciales es baja o muy baja con valores en promedio de 53,56 act/1000 viviendas, con predominio del comercial-servicios sobre el resto de actividades no residenciales, algo que no es significativo teniendo en cuenta su bajo nivel de actividad no residencial, y que a su vez hace difícil identificar patrones determinados de distribución temporal de dichas actividades. En cuanto a los modos de acceso, es preciso indicar que son espacios con alto o muy alto nivel de tránsito motorizado respecto del nivel de actividad no residencial, con valores en promedio de 384,27 veh/actividad y 23,68 autobuses/actividad al día.

5.3.3.4 Entornos de centralidad metropolitana

El *entorno de centralidad metropolitana* hace referencia a aquellos tramos del corredor cuya movilidad está caracterizada por una fuerte especialización urbana, básicamente en lo que respecta a los usos industrial-tecnológico y equipamientos públicos. En este sentido, estos lugares se convierten en unos de los principales centros de atracción y generación de flujos de movilidad dentro del corredor.

Consecuencia de su fuerte especialización urbana, la actividad residencial está muy reducida en estos lugares, al mismo tiempo que ofrecen un rango de actividades limitado y específico (relacionado mayoritariamente con actividad laboral) para los ciudadanos, de ahí, que destaquen esencialmente por ser centros de atracción de movilidad a nivel metropolitano.

La conexión de estos tramos con ejes transversales de relevancia puede ser un factor que refuerce la identidad de estos entornos, como ocurre particularmente en el tramo 13 y 14 del corredor. La integración de los sistemas de transporte público debe de estar orientada a disminuir la dependencia del automóvil que actualmente tienen estos lugares, por lo que las opciones de intermodalidad deberían estar orientadas a la conexión entre transporte público y modos no motorizados. Desde este punto de vista, las demandas ambientales de este entorno de movilidad estarían destinadas a la recuperación de espacio para el peatón, conjuntamente con el aumento de la eficiencia de la movilidad en el consumo de recursos y energía, dado que son lugares con un elevado nivel de circulación motorizada dentro del corredor.

Este entorno de movilidad se localiza en cuatro tramos del corredor, correspondientes a los municipios de Albolote y Granada. De esta manera, se puede ver como éste es el entorno de movilidad predominante en el tramo 2 del corredor localizado junto al polígono industrial de Juncaril en Albolote, el tramo 13, correspondiente al Campus Universitario Fuentenueva, y finalmente, en los tramos 22 y 23 ocupados por el actual Campus Tecnológico y de la Salud.

Los indicadores utilizados muestran que son lugares prácticamente sin actividad residencial, donde la intensidad de actividades es muy alta en todos los casos superando las 300 act/1000 viviendas, con un fuerte predominio del industrial-tecnológico y equipamientos públicos sobre el resto de actividades no residenciales, concentrando la mayor parte de su actividad entre las horas de mañana y primeras horas de la tarde. En cuanto a los accesos y modos de viaje, es preciso indicar que son espacios con altos niveles de tránsito motorizado respecto al nivel de actividad no residencial como consecuencia de su carácter central en el espacio metropolitano, con valores promedio de 123,48 veh/actividad y 9,23 autobuses/actividad al día.

5.3.3.5 Entornos orientados a estaciones de transporte público

El *entorno de movilidad orientado a estaciones de transporte público* hace referencia a un tipo particular de entorno de centralidad metropolitana, que por su relevancia como lugares específicos orientado a la movilidad, conviene tratar de forma separada a los anteriores. La distinción básica radica en el hecho de que este entorno está marcado por la localización de las principales estaciones de transporte público del corredor, como son la estación de autobuses en la zona norte de la ciudad de Granada y la estación de tren (futura estación de AVE) en la sección central del corredor. Su lógica es diferente al resto de *entornos* en la medida y una gran parte de los ciudadanos que se mueven a través de estos entornos lo hacen para cambiar de modo de transporte y salir fuera del corredor a través de transporte público. Este tratamiento específico como entornos particulares de movilidad respecto al resto, es sugerido por autores como Bertolini y Dijst (2003).

Puede ser relevante para estos tramos su conexión con ejes transversales de relevancia para el corredor, algo que ocurre en el tramo 12 del caso de estudio. De esta forma, una integración eficiente de sistemas de transporte pasaría por la búsqueda de un equilibrio entre sus modos de acceso no motorizado y sus necesarios niveles de acceso motorizado, de ahí, que sea clave reforzar opciones de intermodalidad entre todos los modos de transporte presentes en el corredor, tanto motorizados como no motorizados. Desde este punto de vista, las demandas ambientales de este entorno de movilidad estarían destinadas a la recuperación de espacio para el peatón, conjuntamente con el aumento de la eficiencia de la movilidad en el consumo de recursos y energía, dado que son lugares con un elevado nivel de circulación motorizada dentro del corredor.

Este entorno se localiza en la zona norte de la ciudad, concretamente en el tramo 7 donde se localiza la Estación de Autobuses de Granada, conjuntamente con el tramo 12 en la zona central del corredor donde se ubica la actual estación de tren y futura estación de alta velocidad de la ciudad.

Los indicadores utilizados muestran que son lugares con más intensidad residencial que el resto de *entornos de centralidad* previamente mostrados. Una intensidad residencial que es alta en el caso del tramo 12 (164,187 Viv/Ha) y más baja en el caso del tramo 7 (42,62 Viv/Ha). La intensidad de actividades no residenciales también varía en cada uno de los tramos seleccionados siendo muy alta en el tramo 12 (240 act/1000 viviendas) y baja en el tramo 7 (52,81 act/1000 viviendas), con un predominio del comercial-servicios sobre el resto de actividades no residenciales, y un espectro temporal de éstas que cubre prácticamente todo el día. En cuanto a los modos de acceso, es preciso indicar que en lo que respecta al tramo 7 se identifica un alto tránsito motorizado respecto a la actividad no residencial de 471,81 Veh/actividad y 46,56 autobuses/act, mientras que en el tramo 12 estos valores son mucho más bajos, consecuencia de su alta intensidad de actividad no residencial con valores de 20,61 y 5,88 autobuses/act.

5.4. Rendimiento ambiental del corredor en los “entornos de movilidad”

La identificación de *entornos de movilidad* puede aportar matices que enriquezcan la comparación ambiental de alternativas, tomando como referencia aspectos derivados de su propia identidad, por ejemplo, su grado de dependencia de modos motorizados o dónde la dimensión local del medio urbano tiene un papel más intenso, etc.

Considerando los *entornos de movilidad* definidos como unidades espaciales para la evaluación ambiental, este apartado analizará de forma comparada, los niveles de rendimiento ambiental de las alternativas S.0 y S.1 en función de tales entornos. Para ello, se introduce en la tabla 5.20 las principales demandas ambientales que pueden identificarse en cada *entorno de movilidad*, en base al sistema de evaluación propuesto en el capítulo 4.

Además, con el objetivo de sistematizar el estudio de los cambios introducidos por cada alternativa en el nivel de rendimiento ambiental, se identifican los siguientes tipos de cambios (ver figura 5.37):

- a) *Mejora fuerte*: cuando un indicador pasa del nivel de rendimiento ambiental donde se encuentra a un nivel más favorable, o bien, estando en un estado de *rendimiento óptimo* mejora sus resultados en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0.
- b) *Mejora débil*: cuando un indicador pasa del nivel de rendimiento ambiental donde se encuentra al *intervalo de transición* del umbral ambiental inmediatamente inferior.
- c) *Sin cambio*: cuando un indicador conserva su estado ambiental en la alternativa S.0 respecto de la alternativa S.1
- d) *Empeoramiento débil*: cuando un indicador pasa del nivel de rendimiento ambiental donde se encuentra al *intervalo de transición* del umbral ambiental inmediatamente superior.
- e) *Empeoramiento fuerte*: cuando un indicador pasa del nivel de rendimiento ambiental donde se encuentra a un nivel menos favorable, o bien, estando en un nivel de *rendimiento negativo* empeora sus resultados en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0.

Tabla 5.20. Síntesis de las demandas ambientales del corredor en cada *entorno de movilidad*

ENTORNOS DE MOVILIDAD	EVALUACIÓN RENDIMIENTO AMBIENTAL CORREDOR								
	Uso energía y otros recursos “entradas”			Emisión residuos “salidas”			Uso modal viario		
	EE	ES	Observaciones	CPM ₁₀	ER	Observaciones	CVR	EB	Observaciones
Proximidad y alcance local	○	○	Sin relevancia por su bajo tránsito motorizado	●	●	Importantes para promocionar un mayor uso no motorizado del corredor	●●	●●	Muy importantes para orientar el corredor hacia una actividad más peatonal y no motorizada
Proximidad y distribución circulatoria	●●	●●	Muy Importantes por sus elevados flujos motorizados	●●	●●	Muy Importantes para promocionar un mayor uso no motorizado del corredor	●●	●●	Muy Importantes para orientar el corredor hacia una actividad más peatonal y no motorizada
Circulación motorizada	●●	●●	Muy Importantes por sus elevados flujos motorizados	●	○	A considerar como media de eficiencia de los flujos motorizados, especialmente CPM ₁₀	○	○	Sin relevancia por su bajo atractivo para una movilidad más peatonal y menos motorizada
Centralidad metropolitana	●●	●●	Muy Importantes al ser centros de atracción y generación de movilidad motorizada	●	○	A considerar como medida de eficiencia de los flujos motorizados. Especialmente CPM ₁₀	●	○	A considerar para fomentar un diseño del entorno más amigable con el peatón. Especialmente el CVR
Estaciones transporte público	●●	●●	Muy Importantes por sus elevados flujos motorizados	●●	●●	Muy Importantes para promocionar un mayor uso no motorizado del corredor	●●	●●	Muy Importantes para orientar el corredor hacia una actividad más peatonal y no motorizada

○ Sin Influencia ● Importante ●● Determinante

EE: Eficiencia energética; ES: eficiencia superficial; CPM₁₀: Concentración de PM₁₀; ER: Emisión de ruido; CVR: Coeficiente viario de reparto; EB: Efecto barrera.

Fuente: elaboración propia

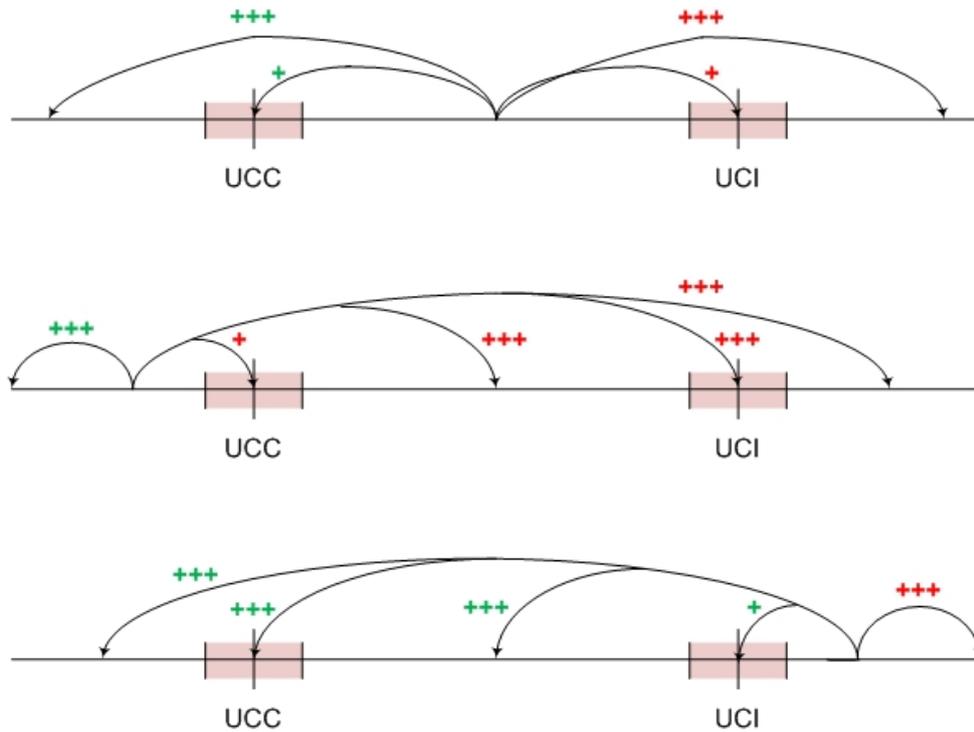
Rendimiento ambiental:



Rendimiento ambiental e intervalos de transición:



Tipos de cambio entre alternativas:



(+++)
(++) Mejora fuerte (+) Mejora débil

(+++)
(++) Empeoramiento fuerte (+) Empeoramiento débil

Figura 5.37. Esquema de posibles cambios en los niveles de rendimiento ambiental del corredor. Fuente: elaboración propia

5.4.1 Rendimiento ambiental en el “entorno de proximidad y alcance local”

El *entorno de proximidad y alcance local* se caracteriza por una fuerte dimensión local del medio urbano. Dado que la componente de proximidad es muy relevante en este entorno, una gran parte de las necesidades de la población residente podrían ser cubiertas sin necesidad de utilizar modos motorizados, de ahí, que no sean espacios que destaquen por ser centros de atracción de movilidad metropolitana, como así tampoco, espacios urbanos con altos niveles de circulación motorizada.

La integración ambiental de sistemas de transporte público en este *entorno de movilidad* se caracterizaría por:

- Priorizar flujos de movilidad peatonal y en bicicleta consecuencia de la intensa actividad urbana existente en este ámbito urbano, que además cubren casi la totalidad de franjas horarias del día.
- Fomentar el uso del transporte público para aquellos viajes fuera del *entorno de movilidad*, reduciendo especialmente el papel del *entorno* como itinerario de circulación del transporte privado que no responda a cuestiones locales.

En consecuencia con lo anterior, las propuestas para el corredor en este *entorno de movilidad* deberían orientarse por tramos:

- Recuperar espacio de la sección viaria del corredor como espacio verde, peatonal y para la bicicleta, junto con un aumento de la permeabilidad de dicha sección viaria que beneficie una movilidad no motorizada.
- Fomentar el diseño de ejes de espacio público y rutas comerciales entre el corredor y su entorno urbano que refuercen la idea de movilidad por proximidad.
- Procurar que los flujos motorizados mantenga unos niveles adecuados de calidad del aire, especialmente en lo que tiene que ver con la emisión de gases nocivos para la salud pública y el ruido.
- Orientar la oferta intermodal de estos lugares entre modos no motorizados como la bicicleta y el transporte público.

Consecuencia de los aspectos previamente planteados, los indicadores relativos al uso modal viario y a la emisión de residuos por parte de la movilidad urbana, son prioritarios para profundizar sobre la comparación de alternativas en este *entorno de proximidad y alcance local* (ver tabla 5.20, apartado 5.4). Por esta razón, el comentario de los resultados se centrará sobre estos indicadores, aunque residualmente se utilicen algunos otros del propio sistema de evaluación para apoyar determinados planteamientos.

Comenzando el análisis de resultados desde el bloque de indicadores relativo al uso modal viario, destacar que para la alternativa S.0 el coeficiente viario de reparto presenta en la mayoría de tramos *rendimientos aceptables*, con excepción de los tramos 5 y 19 que tienen un *rendimiento óptimo*. En el caso del efecto barrera, la situación está más repartida, de modo que los tramos 3, 4 y 5 en el municipio de Maracena presentan *rendimientos óptimos*, los tramos 18 y 19, *negativos* y, los tramos 1 y 25, *aceptables*.

La emisión de residuos o desechos tiene una doble lectura en la alternativa S.0. Por un lado, todos los tramos poseen un *rendimiento óptimo* en lo que respecta a la concentración de PM₁₀ (ver figura 5.38). Por otro lado, los niveles de ruido tienen un *rendimiento negativo* en este *entorno de movilidad* para todos sus tramos, como consecuencia de los niveles de tráfico en los tramos 18 y 19 en la ciudad de Granada, mientras que en el resto de tramos es resultado de su pequeña sección viaria, que favorece un aumento de los procesos reverberación acústica (tramos 4, 5 y 25).

Tabla 5.21. Indicadores de rendimiento ambiental para el *entorno de proximidad y alcance local*. Alternativa S.0

Tramos	Uso modal viario		Emisión de residuos	
	CVR (m ² Secc/m ¹ peat)	Efecto Barrera (EB/m)	Conc. De PM10 (µgr/m3)	Ruido (dB(A))
1	2,32	3,22	2,86	68,90
3	2,79	2,59	9,41	73,00
4	2,50	2,84	5,59	72,70
5	1,31	2,41	3,24	73,20
18	2,11	2,85	16,03	70,30
19	1,40	2,91	6,05	65,50
25	2,38	3,91	2,38	74,60

Fuente: elaboración propia

Entorno de proximidad y alcance local. Alternativa S.0

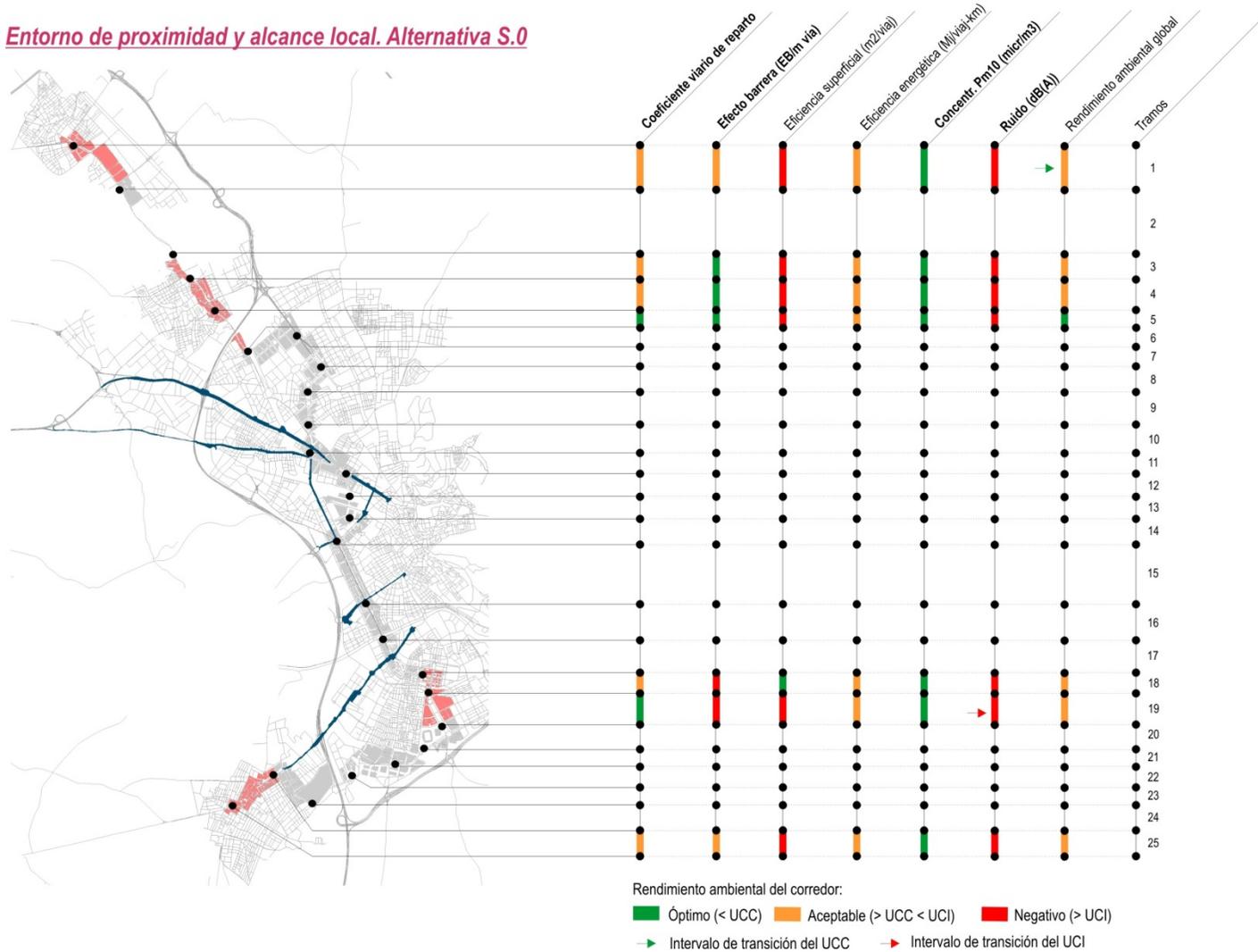


Figura 5.38. Alternativa S.0. Niveles de rendimiento ambiental en el *entorno de proximidad y alcance local*. Fuente: elaboración propia

En cuanto a los cambios existentes en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, destacar que los resultados más favorables se obtienen en la disminución del efecto barrera. Este indicador tiene mejoras fuertes en cuatro tramos de los siete que conforman este *entorno de movilidad*, dos de ellos pasando de *rendimientos aceptables* a *rendimientos óptimos* (tramos 1 y 25), junto a otras dos mejoras fuertes en tramos que ya tenían un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.0 pero que consiguen disminuir aún más su efecto barrera (tramos 4 y 5). Por el contrario, este indicador presenta igualmente, un empeoramiento débil en el tramo 3 pasando de un *rendimiento óptimo* a entrar en el *intervalo de transición* del UCC, consecuencia principalmente del aumento de la sección viaria del corredor en este tramo (parcialmente no edificado), lo que implica también un aumento de su calzada. Los tramos 18 y 19 mantienen un *rendimiento negativo* entre la alternativa S.1 y S.0 en lo que se refiere al efecto barrera.

El coeficiente viario de reparto como segundo indicador relativo al uso modal viario, no experimenta grandes cambios entre las alternativas evaluadas. De esta forma, se mantienen inalterados los niveles de rendimiento ambiental de los tramos 1, 4, 18 y 19, de los cuales únicamente el tramo 19 tiene un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.0, mientras que el resto permanecen en la alternativa S.1 con un *rendimiento aceptable* ya existente en la alternativa S.0. El tramo 5 experimenta un empeoramiento fuerte de este indicador pasando de un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.1 a un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.0, mientras que los tramos 3 y 25 presentan una mejora fuerte pasando de *rendimientos aceptables* a *rendimientos óptimos*. Ahora bien, es importante matizar que en la mayoría de tramos de este *entorno de movilidad*, a pesar de que se conserve un nivel de *rendimiento aceptable* entre las alternativas evaluadas, la superficie verde+peatonal disminuye en todos los tramos excepto los tramos 3 y 25 (ver figura 5.39), lo que supone un retroceso evidente en relación las características particulares de este entorno de movilidad, que demanda precisamente la situación contraria.

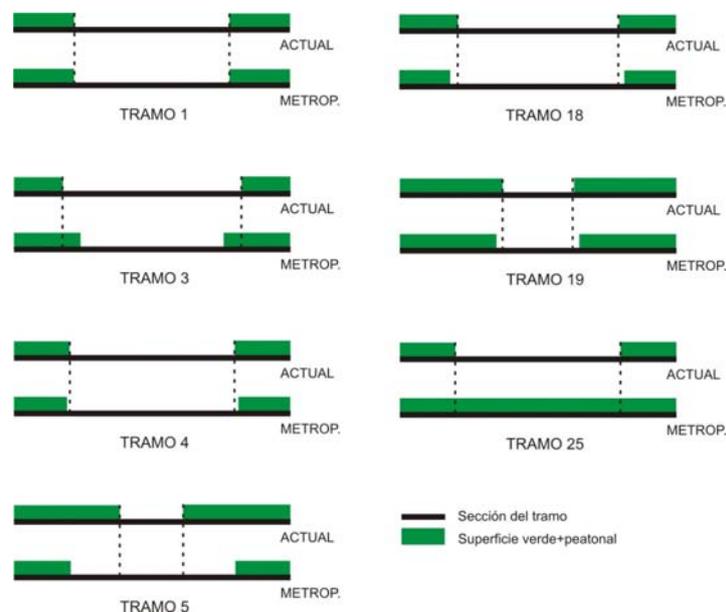


Figura 5.39. Cambios de la superficie verde+peatonal en el *entorno de proximidad y alcance local*. Fuente: elaboración propia

Entorno de proximidad y alcance local. Alternativa S.1

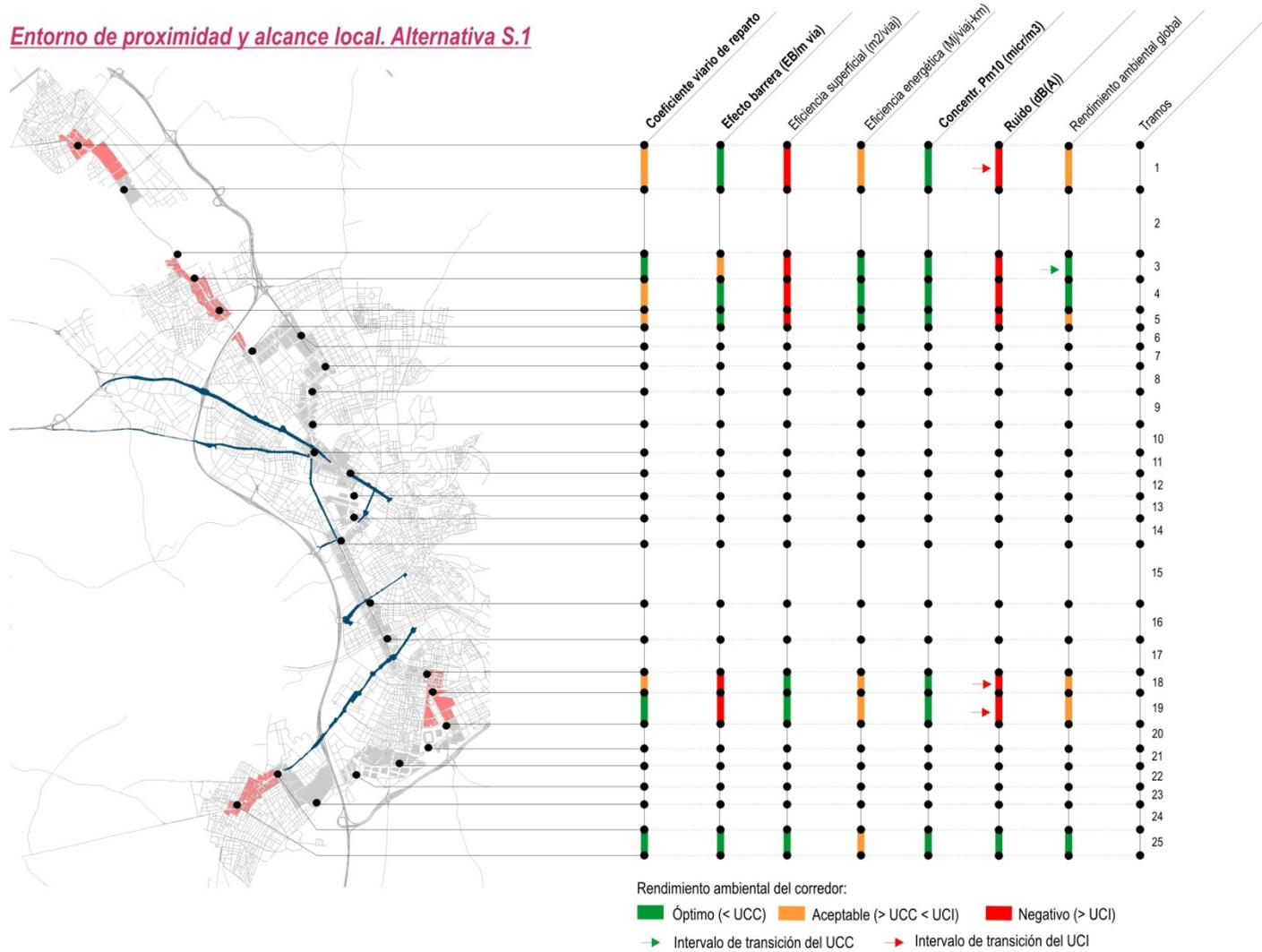


Figura 5.40. Alternativa S.1. Niveles de rendimiento ambiental en el *entorno de proximidad y alcance local*. Fuente: elaboración propia

Respecto al segundo grupo de indicadores relativos a la emisión de residuos, destaca la mejora fuerte en la alternativa S.1 de prácticamente todos los tramos del *entorno de movilidad* en relación con la concentración de PM₁₀ y a pesar de que todos los tramos presentan *rendimientos óptimos* en la alternativa S.0. Respecto al ruido como segundo indicador utilizado para valorar la emisión de residuos, se observa una mejora débil o leve en los tramos 1, 18 y 19, aunque todos ellos dentro del *intervalo de transición* del UCI, mientras que se registra una mejora fuerte en el tramo 25 pasando de un *rendimiento negativo* a un *rendimiento óptimo*. El resto de tramos mantiene su rendimiento negativo en ambas alternativas.

Tabla 5.22. Indicadores de rendimiento ambiental para el *entorno de proximidad y alcance local*. Alternativa S.1

Tramos	Uso modal de la vía		Emisión de residuos	
	CVR (m ² Secc/m ² peat)	Efecto Barrera (EB/m)	Conc. De PM10 (µgr/m3)	Ruido (Lden)
1	2,31	0,27	1,40	68,00
3	1,78	0,32	5,05	69,00
4	2,65	0,14	3,05	70,00
5	2,44	0,11	1,63	71,00
18	2,67	2,46	12,19	68,00
19	1,54	2,77	5,48	66,00
25	1,37	0,09	6,92	70,00

Fuente: elaboración propia

En síntesis, señalar que salvo alguna excepción puntual por tramo e indicador (por ejemplo el tramo 5), la alternativa S.1 nunca empeora los niveles de rendimiento ambiental existentes en la alternativa S.0 para aquellos indicadores considerados más relevantes en este *entorno de movilidad*. Por otro lado, tampoco consigue mejorar el nivel de rendimiento de aquellos tramos que tienen *rendimientos negativos* en la alternativa S.0 para ninguno de estos indicadores, matizando que en el caso de la emisión de ruido, se consiguen mejoras leves en los tramos 1, 18 y 19 pasando de un *rendimiento negativo* en la alternativa S.0 a entrar dentro del *intervalo de transición* del UCI. Las mejoras de rendimiento ambiental en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, se concentran mayoritariamente tanto en el paso de tramos con *rendimientos aceptables* en la alternativa S.0 a *rendimientos óptimos* en la alternativa S.1 (por ejemplo los tramos 1 y 25 respecto del efecto barrera), como en tramos con *rendimientos óptimos* en la alternativa S.0 pero que mejoran sus resultados en la alternativa S.1 (ver ejemplo de la concentración de PM₁₀).

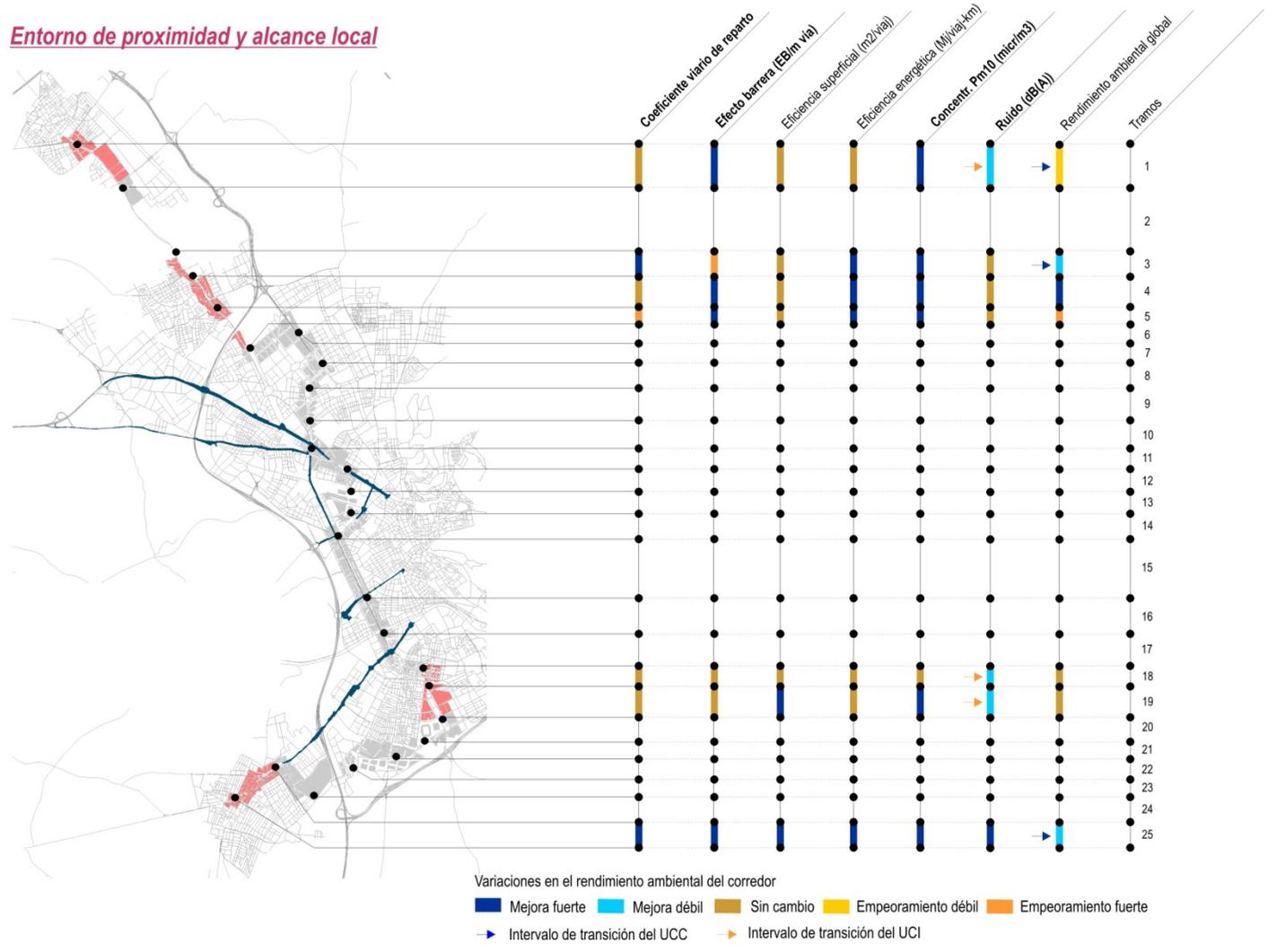


Figura 5.41. Variaciones del rendimiento ambiental entre la alternativa S.0 y S.1. *Entorno de proximidad y alcance local.* Fuente: elaboración propia

Tabla 5.23. Comparación ambiental entre la alternativa S.0 y S.1 para el *entorno de proximidad y alcance local*

Indicadores	Alternativas			Observaciones
	Niveles Rend. ambiental	S.0 (Nº tramos)	S.1 (Nº tramos)	
Coeficiente viario reparto	Óptimo	2	3	A pesar de que existen pocos cambios en los niveles de rendimiento ambiental, la superficie verde+ peatonal disminuye en todos los tramos excepto el tramo 25
	Aceptable	5	4	
	Negativo	0	0	
Efecto Barrera	Óptimo	1	4	
	Aceptable	4	1	
	Negativo	2	2	
Concentración PM ₁₀	Óptimo	7	7	Aunque todos los tramos tienen un <i>rendimiento óptimo</i> en la alternativa S.0, consiguen disminuir su concentración de PM ₁₀ en la alternativa S.1
	Aceptable	0	0	
	Negativo	0	0	
Emisión ruido	Óptimo	0	0	A pesar de que no existen alternaciones entre el rendimiento de las alternativas evaluadas, existen mejoras leves en los tramos 1, 18 y 19
	Aceptable	0	0	
	Negativo	8	8	

Fuente: elaboración propia

Realizando lecturas comparadas de los indicadores estudiados, se puede ver como se consiguen mejoras en los niveles de rendimiento ambiental relativos al efecto barrera en la alternativa S.1, al menos en aquellos indicadores que en la alternativa S.0 tienen *rendimientos aceptables*, no correspondidos con mejoras en los niveles de rendimiento ambiental del coeficiente viario de reparto, donde incluso se reduce –con la excepción del tramo 25- la superficie verde+peatonal. Esta situación muestra ciertas contradicciones por parte de la alternativa S.1 para potenciar un aumento del uso peatonal y no motorizado del corredor en este *entorno de movilidad*, que sirva para favorecer una mayor movilidad por proximidad.

Situación similar ocurre con los indicadores del bloque de emisión de residuos o desechos por parte de la movilidad urbana, ya que existe una mejora evidente de la concentración de PM₁₀ para todos los tramos del corredor en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, pero no así en el caso de la emisión de ruido, con excepción de mejoras leves en los tramos 1, 18 y 19, todas ellas en el *intervalo de transición* del UCI.

Sería oportuno finalizar este apartado señalando que, a pesar de que predomine en ambas alternativas un *rendimiento aceptable* en la mayoría de tramos del corredor de este *entorno de movilidad*, cuando los resultados se analizan de forma pormenorizada sobre aquellos indicadores que pueden ser más relevantes de acuerdo a las características del *entorno*, se aprecia como la alternativa S.1. solamente incide en alcanzar rendimientos más favorables respecto de la alternativa S.0 en el indicador efecto barrera (tramos 1 y 25), junto con la mejora débil de algunos tramos en relación con la emisión sonora (tramos 1, 8 y 19).

5.4.2 Rendimiento ambiental en el entorno de proximidad y distribución circulatoria

En comparación con el total *entornos de movilidad* identificados a lo largo del corredor, el *entorno de proximidad y distribución circulatoria* es aquel que posee una complejidad mayor, resultado de que su movilidad no solo está mediatizada por una fuerte dimensión local del medio urbano, como ocurría en el caso del *entorno de movilidad* anterior, sino que además tiene importantes funciones de distribución y tránsito motorizado dentro del conjunto de municipios que conforman el caso de estudio.

Esta situación hace que las demandas ambientales de este *entorno de movilidad* adquieran un carácter más integral en relación con los diferentes bloques que conforman el sistema de evaluación propuesto (ver tabla 5.20, apartado 5.4). En este sentido, el diseño del corredor en este *entorno de movilidad* debería estar orientado a la coexistencia ambiental de escalas de movilidad diferentes, relacionadas por un lado con el fuerte carácter local de estos espacios y, por otro lado, vinculadas al papel de estos tramos como parte de itinerarios motorizados dentro del ámbito de estudio.

En consecuencia con lo anterior, las propuestas para este entorno de movilidad deberían caracterizarse por:

- Recuperar espacio de la sección viaria del corredor como espacio verde, peatonal y para la bicicleta, junto con un aumento de la permeabilidad de la sección viaria que fomente tales modos de movilidad alternativa. Esta situación favorecería sinergias con la alta actividad comercial del entorno.
- Alcanzar altas eficiencias en la utilización de recursos y energía por parte de la movilidad del corredor, como consecuencia de la intensidad de su circulación motorizada.
- Procurar que los flujos motorizados mantenga unos niveles adecuados de calidad del aire, especialmente en lo que tiene que ver con la emisión de gases nocivos para la salud pública y el ruido.

Consecuencia de los aspectos previamente planteados y desde el punto de vista del sistema de evaluación empleado, cualquiera de los indicadores que integran dicho sistema, son prioritarios para profundizar en la comparación de alternativas para este *entorno de proximidad y alcance local*.

A nivel del rendimiento ambiental global, los resultados obtenidos muestran como la alternativa S.1 mejora el nivel de rendimiento ambiental de este *entorno de movilidad* respecto de la alternativa S.0. Esto es consecuencia fundamentalmente de que 3 de los 5 tramos que integran el *entorno de proximidad y distribución circulatoria*, pasan de un *rendimiento global negativo* en la alternativa S.0 a un *rendimiento global aceptable* en la alternativa S.1 (tramos 15, 16 y 17), mientras que los 2 tramos restantes mantienen un *rendimiento global aceptable* en las dos alternativas (tramos 11 y 14).

Los resultados obtenidos para la alternativa S.0 en los indicadores pertenecientes al bloque de uso modal viario, muestran en el caso del coeficiente viario de reparto, *rendimientos aceptables* en todos los tramos, mientras que el indicador efecto barrera tiene niveles de rendimiento negativos en todos ellos, consecuencia de los altos flujos de tráfico que tiene este *entorno de movilidad*. Considerando la conexión de estos tramos del corredor con ejes viarios transversales de relevancia, especialmente como itinerarios peatonales (ejes de espacio público o rutas comerciales), valorar la capacidad de la alternativa S.1 para mejorar tanto el efecto barrera como el coeficiente viario de reparto, puede ser una cuestión importante de cara a las demandas ambientales previamente comentadas para este *entorno de movilidad*.

Tabla 5.24. Indicadores de rendimiento ambiental para el *entorno de proximidad y distribución circulatoria*. Alternativa S.0

Tramos	Uso modal viario		Uso de energía y otros recursos		Emisión de residuos o desechos		Valor ambiental global
	CVR	Efecto Barrera (EB/m)	Efi. Superf. (m ² /pasajero-km)	Efi. Energ (Mj/pasajero-Km)	Conc. De PM10 (µgr/m ³)	Ruido (dB(A))	
11	1,95	20,8	0,27	0,49	23,71	76,30	0,45
14	1,93	45,3	0,35	0,79	23,87	73,90	0,57
15	2,54	63,9	0,34	0,79	28,14	77,90	0,67
16	2,59	45,3	0,31	0,68	26,32	78,20	0,63
17	2,62	41,8	0,23	0,59	36,48	73,50	0,62

Fuente: elaboración propia

Los indicadores relativos al uso de energía y otros recursos son fundamentales para este *entorno de movilidad* como consecuencia de los altos flujos de tráfico motorizado. La eficiencia superficial presenta en la alternativa S.0 *rendimientos óptimos* para todos los tramos del *entorno de movilidad*, mientras que la eficiencia energética tiene 4 de sus tramos con un *rendimiento aceptable* (tramos 14, 15, 16 y 17), de los cuales, el tramo 17 forma parte del *intervalo de transición* del UCC, a la vez que el tramo 11 tiene un *rendimiento óptimo*.

Respecto de los indicadores que componen el bloque de emisión de residuos y desechos por parte de la movilidad del corredor, el indicador concentración de PM₁₀ presenta en la alternativa S.0 cuatro de sus tramos (tramos 11, 14, 15 y 16) con *rendimiento aceptable* y un tramo con *rendimiento negativo* (tramo 17). De hecho, este es el *entorno de movilidad* con peores niveles de concentración de PM₁₀ en la alternativa S.0, consecuencia de sus altos flujos de tráfico motorizado. En cuanto a la emisión de ruido como segundo indicador que compone el bloque de emisión de residuos, todos los tramos del *entorno de movilidad* presentan un *rendimiento negativo* en la alternativa S.0.

Entorno de proximidad y distribución circulatoria. Alternativa S.0

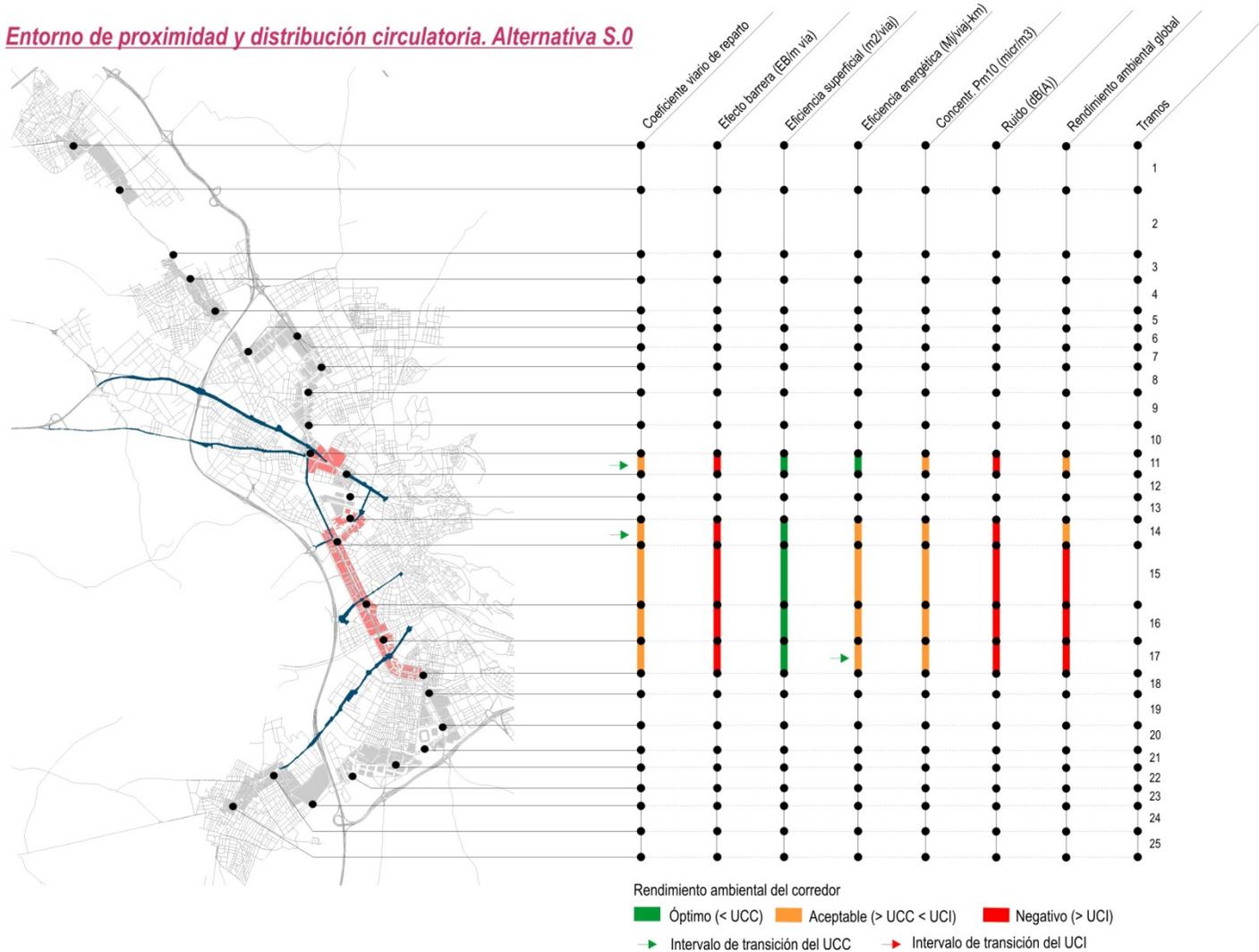


Figura 5.42. Alternativa S.0. Niveles de rendimiento ambiental en el *entorno de proximidad y distribución circulatoria*. Fuente: elaboración propia

Evaluando los principales cambios acontecidos entre la alternativa S.0 y la alternativa S.1, los indicadores relativos al coeficiente viario de reparto y efecto barrera prácticamente no cambian su nivel de rendimiento ambiental en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, con excepción del tramo 11 que cuenta con un empeoramiento débil en su coeficiente viario de reparto, a la vez que una mejora fuerte en su efecto barrera, pasando de un *rendimiento negativo* a un *rendimiento aceptable*. La explicación de esta situación tiene su origen en el tipo de intervención que se plantea en la alternativa S.1 para este sector del corredor, donde el sistema de metro ligero transcurre en subterráneo para todos los tramos excepto para el tramo 11, de manera que a pesar de que se ha propuesto una reordenación viaria y de la movilidad en aquellos tramos por donde el metro ligero transcurre en subterráneo (tramos 14, 15, 16 y 17), la propuesta en cuestión dicta mucho de fomentar un verdadero cambio de uso modal en relación con el existente en la alternativa S.0.

Tabla 5.25. Indicadores de rendimiento ambiental para el *entorno de proximidad y distribución circulatoria*. Alternativa S.1

Tramos	Uso modal viario		Uso de energía y otros recursos		Emisión de residuos o desechos		Valor ambiental global
	CVR	Efecto Barrera (EB/m)	Efi. Superf. (m ² /pasajero-km)	Efi. Energ (Mj/pasajero-Km)	Conc. De PM10 (µgr/m ³)	Ruido (dB(A))	
11	2,10	0,8	0,15	0,38	21,96	76,00	0,43
14	1,94	3,34	0,19	0,58	18,61	68,00	0,41
15	2,00	5,28	0,34	0,78	18,71	66,00	0,50
16	2,17	4,01	0,24	0,69	16,30	66,00	0,45
17	2,52	2,42	0,20	0,61	25,51	71,00	0,53

Fuente: elaboración propia

En relación con el uso de energía y otros recursos como demanda ambiental clave en este *entorno de movilidad* por las altas tasas de circulación motorizada, el indicador de eficiencia energética de la movilidad prácticamente no experimenta cambio alguno en su nivel de rendimiento ambiental, con excepción del tramo 14 y 17, ambos con una mejora débil pasando de un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.0 a entrar en el *intervalo de transición* del UCC en la alternativa S.1. Por el contrario, el indicador eficiencia superficial de la movilidad que tiene *rendimientos óptimos* en todos sus tramos en la alternativa S.0, mejora sus resultados en la alternativa S.1, con la excepción del tramo 15 entre las paradas de Méndez Núñez y Recogidas.

Los indicadores relativos a la emisión de residuos o desechos por parte de la movilidad urbana son los que muestran un cambio positivo más evidente en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0. De esta forma, la concentración de PM₁₀ presenta mejoras fuertes en los tramos 14, 15, 16 y 17, de los cuales, solamente el tramo 16 tiene un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.0.

Entorno de proximidad y distribución circulatoria. Alternativa S.1

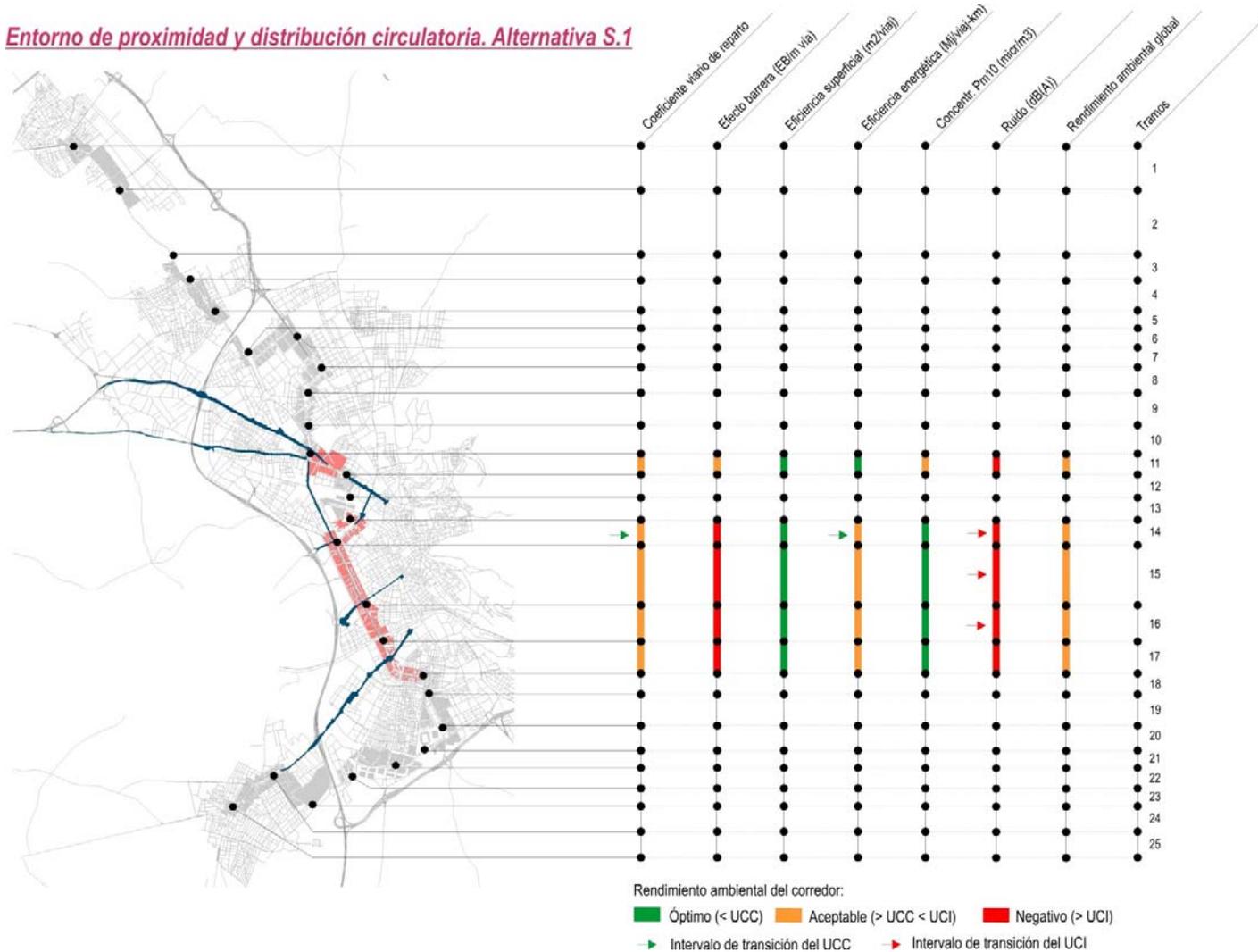


Figura 5.43. Niveles de rendimiento ambiental del corredor en el entorno de proximidad y distribución circulatoria. Alternativa S.1. Fuente: elaboración propia

El otro aspecto vinculado con la calidad del aire es el ruido, que tiene una mejora leve en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, representada en los tramos 14, 15 y 16 que pasan de tener un *rendimiento negativo* en la alternativa S.0 a entrar en el *intervalo de transición* del UCI en la alternativa S.1, mientras que el resto de tramos mantiene inalterado su *rendimiento negativo* en ambas alternativas.

De acuerdo a las características particulares de este *entorno de movilidad*, donde existe una alta actividad comercial, así como la influencia de ejes transversales relevantes como itinerarios de movilidad no motorizada, la propuesta realizada en la alternativa S.1 para el corredor no responde a tales características en lo que tiene que ver con el bloque de indicadores de uso modal viario. En este sentido, se puede ver que tanto el coeficiente viario de reparto como el efecto barrera no tienen prácticamente ningún cambio de nivel de rendimiento ambiental entre las alternativas evaluadas, con excepción del tramo 11 que pasa de un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.0 a un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.1 para el indicador efecto barrera.

Tabla 5.26. Comparación ambiental entre la alternativa S.0 y S.1 para el *entorno de proximidad y distribución circulatoria*

Indicadores	Alternativas			Observaciones
	Niveles Rend. ambiental	S.0 (Nº tramos)	S.1 (Nº tramos)	
Coefficiente viario reparto	Óptimo Aceptable Negativo	0 5 0	0 5 0	En la alternativa S.0 los tramos 11 y 14 están en dentro del intervalo de transición del UCC y en la alternativa S.1 solamente el tramo 11
Efecto Barrera	Óptimo Aceptable Negativo	0 0 5	0 1 4	
Efic. Superficial	Óptimo Aceptable Negativo	5 0 0	5 0 0	Aunque todos los tramos tienen un <i>rendimiento óptimo</i> en la alternativa S.0, consiguen disminuir su los m ² /viaj-Km utilizados en la alternativa S.1
Efic. Energética	Óptimo Aceptable Negativo	0 5 0	1 4 0	
Concentración PM ₁₀	Óptimo Aceptable Negativo	0 4 1	3 2 0	
Emisión ruido	Óptimo Aceptable Negativo	0 0 5	0 0 5	Se consiguen 3 mejoras débiles para la alternativa S.1 en los tramos 14, 15 y 16, todos ellos dentro del intervalo de transición del UCI
Rendimiento Global	Óptimo Aceptable Negativo	0 2 3	0 5 0	

Fuente: elaboración propia

En cuanto al uso de energía y otros recursos, existen también pocos cambios en los niveles de rendimiento del *entorno de movilidad*, situación que es positiva en el caso particular de la eficiencia superficial de la movilidad urbana que tiene *rendimientos óptimos* para todos sus tramos en la alternativa S.0, pero no así para la eficiencia energética. El caso de la eficiencia energética es diferente, ya que en la alternativa S.0 todos los tramos tienen un *rendimiento aceptable* y solamente uno de esos tramos (tramo 11) pasa a tener un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.1. Al igual que en el caso de los indicadores relativos al uso modal viario, con la excepción de la eficiencia superficial de la movilidad urbana que presenta rendimientos óptimos de todos sus tramos en la alternativa S.0, la alternativa S.1 no logra mejorar los niveles de rendimiento para este *entorno de movilidad*.

Finalmente, los indicadores relacionados con la emisión de residuos o desechos, son aquellos que responden mejor a las características de este *entorno de movilidad*. La concentración de PM₁₀ obtiene hasta 3 mejoras fuertes en sus niveles de rendimiento (tramos 14, 15, 16 y 17), a la vez que tres tramos con mejoras débiles en lo relativo a la emisión de ruido (tramos 15, 16 y 17). Son precisamente los cambios de rendimiento en los indicadores relativos al bloque de emisión de residuos o desechos, los que inducen una mejora en el rendimiento ambiental global del corredor en este *entorno de movilidad*.

En conclusión, dadas las características particulares de este *entorno de movilidad*, la opción representada por la alternativa S.1 contribuye a mejorar el rendimiento ambiental global del corredor en este *entorno* respecto a la alternativa S.0., aunque concentrando tales mejoras en los indicadores relativos a la emisión de residuos de la movilidad urbana. Sin embargo, la alternativa S.1 difícilmente consigue solucionar algunos de los problemas ambientales que se plantean en la alternativa S.0 y que son de gran relevancia para este *entorno de movilidad*, como por ejemplo, aquellos que tienen que ver con la dotación de espacio público en el corredor, la permeabilidad viaria o la eficiencia en el uso de energía y otros recursos.

Entorno de proximidad y distribución circulatoria

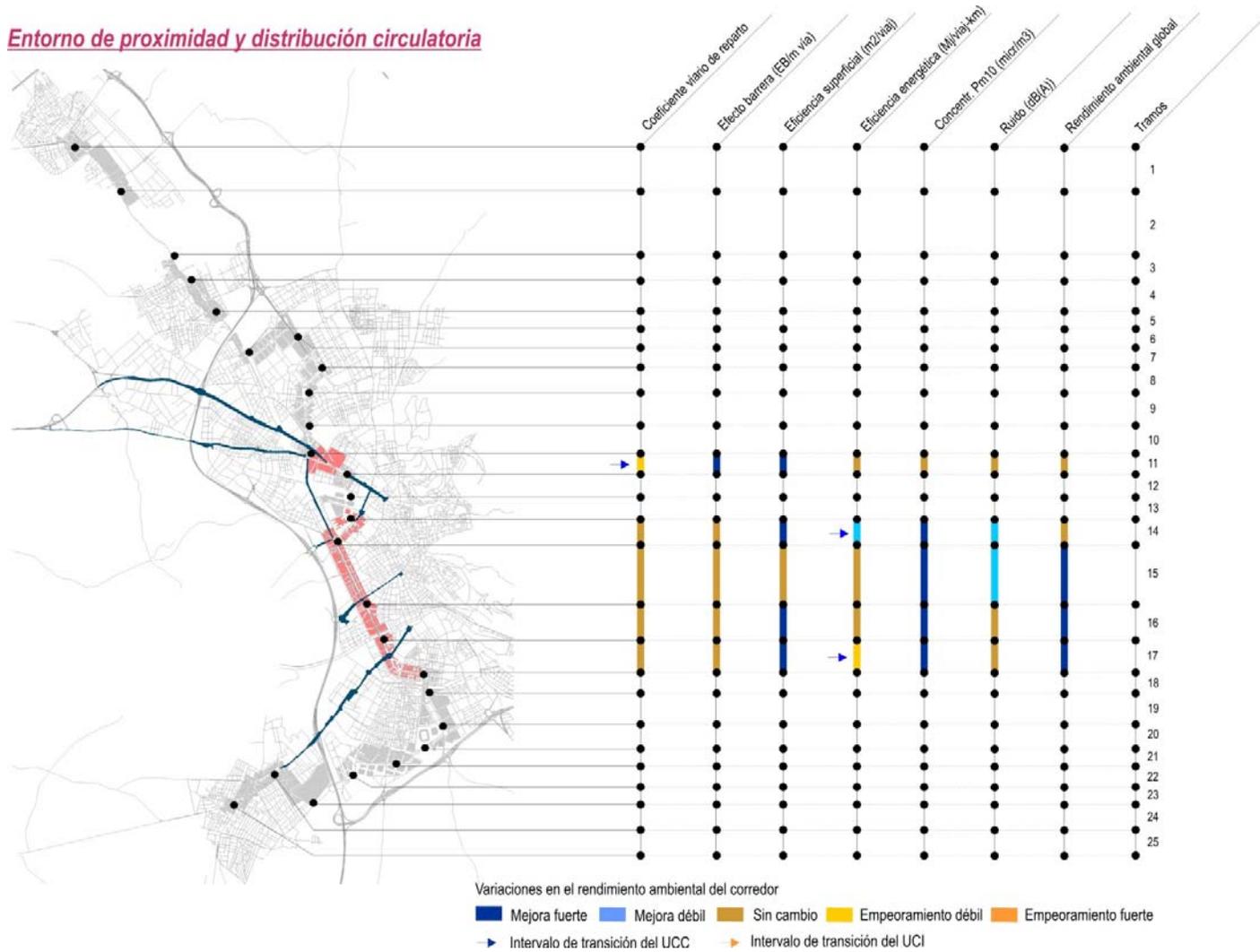


Figura 5.44. Variaciones del rendimiento ambiental entre la alternativa S.0 y S.1. *Entorno de proximidad y distribución circulatoria*. Fuente: elaboración propia

5.4.3 Rendimiento ambiental en el entorno de circulación motorizada

El *entorno de circulación motorizada* hace referencia a aquellos tramos del corredor cuya movilidad está caracterizada por una muy débil dimensión local del medio urbano, aspecto que refuerza su condición como espacios de tránsito y/o circulación. De esta forma, la componente de proximidad es poco relevante en la mayoría de casos, por lo que una gran parte de las necesidades de la población residente no pueden ser cubiertas en el mismo lugar donde habitan, de ahí, que desde el punto de vista de la movilidad, se conviertan en lugares destinados mayoritariamente al tránsito o circulación motorizada desde unos lugares a otros del corredor, o entre el corredor y el resto del sistema urbano, situación que en muchos casos se ve reforzada por su función como itinerarios circulatorios en el diseño de la propia ciudad a través de su conexión con ejes transversales relevantes.

Dadas las características de este *entorno de* movilidad y desde el punto de vista del rendimiento ambiental del corredor, serán más importantes aquellos aspectos de la movilidad directamente relacionados con la circulación motorizada. De ahí, que se consideren determinantes para evaluar su rendimiento ambiental, los indicadores de eficiencia energética y eficiencia superficial de la movilidad urbana, conjuntamente con la concentración de PM₁₀ (ver apartado 5.4).

En consecuencia con lo anterior, las principales intervenciones sobre este *entorno de circulación motorizada* deberían estar orientadas a:

- Alcanzar altas eficiencias en el uso de energía y otros recursos, consecuencia de su fuerte papel como lugares de tránsito motorizado.
- Considerar como aspectos más secundarios aquellos que están relacionados con una movilidad más local y no motorizada, ya que la aptitud del *entorno* para estos tipos de movilidad es muy baja o nula.
- Fomentar opciones intermodales vehículo privado-transporte público.

A nivel del rendimiento ambiental global, los resultados obtenidos muestran como la alternativa S.1 mantiene los niveles de rendimiento existentes en la alternativa S.0, incluso empeorándolos ligeramente. Esto es consecuencia de que 4 de los 7 tramos que componen el *entorno de movilidad* mantienen un *rendimiento global aceptable* en ambas alternativas (tramos 6, 8, 9, y 24). El tramo 10 presenta una mejora fuerte pasando de un *rendimiento global bajo* en la alternativa S.0 a un *rendimiento global aceptable* en la alternativa S.1, mientras que el tramo 21 tiene un empeoramiento fuerte pasando de un *rendimiento global óptimo*, aunque dentro del *intervalo de transición* del UCC, a un *rendimiento global aceptable*. Finalmente, el último caso es el del tramo 21 con un empeoramiento débil, como consecuencia de pasar de un *rendimiento global aceptable* aunque dentro del *intervalo de transición* del UCC en la alternativa S.0, a un *rendimiento global aceptable* fuera del *intervalo de transición* del UCC.

Centrando el análisis de los resultados en torno al uso de energía y otros recursos, la eficiencia superficial presenta en la alternativa S.0. *rendimientos negativos* para la mayoría de los tramos del *entorno* (tramos 6, 8, 9, 20 y 24), conjuntamente con un tramo con *rendimiento aceptable* (tramo 21) y un tramo con *rendimiento óptimo* (tramo 10). Por otro lado, la eficiencia energética tiene en la alternativa S.0 unos niveles de rendimiento ambiental más favorables que los comentados en el caso de la eficiencia superficial donde, todos los tramos tienen un *rendimiento aceptable*, con excepción del tramo 21 que cuenta con un *rendimiento óptimo*.

El tercer y último indicador seleccionado para evaluar el rendimiento ambiental de este entorno de movilidad es la concentración de PM₁₀. Sus resultados muestran niveles de *rendimiento óptimos* para todos los tramos en la alternativa S.0, con excepción del tramo 10 entre las paradas de Perete y Villarejo con un *rendimiento aceptable*.

Tabla 5.27. Indicadores de rendimiento ambiental para el *entorno de circulación motorizada*.
Alternativa S.0

Tramos	Usos de energía y otros recursos		Emisión de residuos o desechos	Valor ambiental global
	Efi. Superf. (m ² /pasajero-Km)	Efi. Energ (Mj/pasajero-Km)	Conc. De PM10 (µgr/m ³)	
6	1,63	1,22	7,04	0,35
8	2,21	1,15	7,51	0,,41
9	1,02	1,53	16,26	0,53
10	0,42	0,69	27,46	0,62
20	1,12	0,57	5,84	0,28
21	0,75	0,54	8,12	0,30
24	1,40	1,04	11,87	0,46

Fuente: elaboración propia

La evaluación comparada de alternativas muestra la existencia de cambios positivos importantes entre la alternativa S.0 y S.1 en lo relativo al uso de energía y otros recursos. La eficiencia superficial de la movilidad presenta mejoras fuertes en prácticamente todos los tramos del *entorno de movilidad* (tramos 8, 9, 10 y 20) pasando de *rendimientos negativos* en la alternativa S.0 a *rendimientos óptimos* en la alternativa S.1., mientras que el tramo 21 tiene una mejora débil resultado de mantener un *rendimiento aceptable* en ambas alternativas, pero dentro del *intervalo de transición* del UCC en el caso de la alternativa S.1. El resto de tramos que conforman el *entorno de circulación motorizada* mantienen *rendimientos negativos* en ambas alternativas para la eficiencia superficial (tramos 6 y 24).

Entorno de circulación motorizada. Alternativa S.0

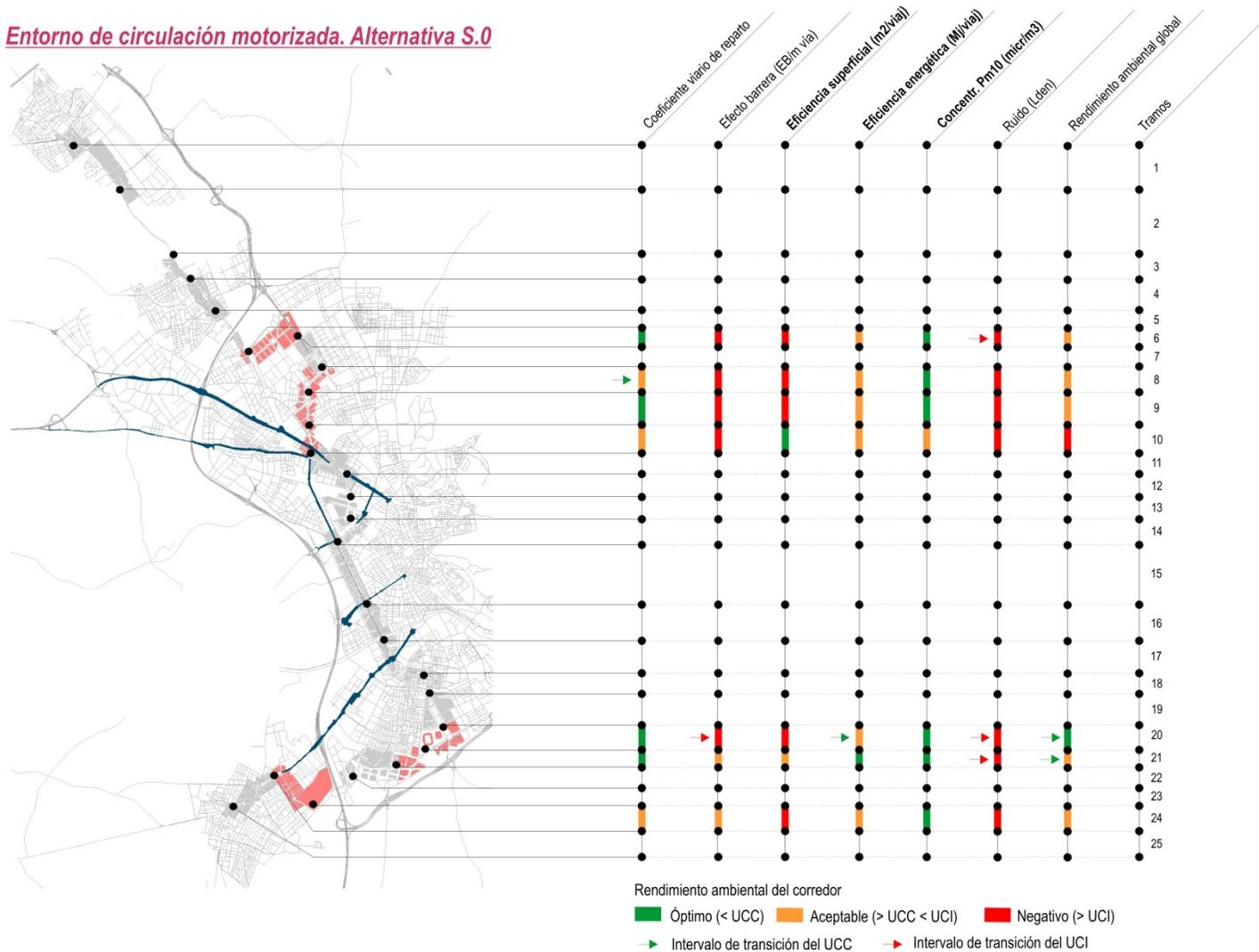


Figura 5.45. Niveles de rendimiento ambiental del corredor en el entorno de circulación motorizada. Alternativa S.0. Fuente: elaboración propia

La eficiencia energética de la movilidad del corredor, al igual que en el caso de la eficiencia superficial, presenta cambios positivos en sus niveles de rendimiento ambiental. De esta forma, 3 de los 7 tramos que conforman el *entorno de movilidad* presentan mejoras fuertes, dos de ellos (tramos 8 y 20) pasando de *rendimientos aceptables* en la alternativa S.0 a *rendimientos óptimos* en la alternativa S.1, mientras que el tramo 21 tiene una mejora fuerte como resultado de disminuir los $m^2/viaj-Km$ en la alternativa S.1 a pesar de que ya existía un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.0. El otro cambio positivo relacionado con la eficiencia energética de la movilidad urbana se produce en el tramo 10, que pasa de un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.0 a entrar en el *intervalo de transición* del UCC en la alternativa S.1.

En cuanto a la concentración de PM_{10} , apuntar que presenta una mejora fuerte en los tramos 20 y 24, donde a pesar de tener *rendimientos óptimos*, sus resultados indican una disminución de la concentración de PM_{10} en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0. El resto de tramos mantienen los *rendimientos óptimos* que poseen en la alternativa S.0, pero sin disminuir la concentración de PM_{10} .

Tabla 5.28. Indicadores de rendimiento ambiental para el *entorno de circulación motorizada*.
Alternativa S.1

Tramos	Usos de energía y otros recursos		Emisión de residuos o desechos	Valor ambiental global
	Efi. Superf. (m ² /pasajero-Km)	Efi. Energ (Mj/pasajero-Km)	Conc. De PM10 (μgr/m ³)	
6	1,19	0,81	6,30	0,43
8	0,41	0,52	6,04	0,35
9	0,45	0,91	14,47	0,49
10	0,16	0,55	24,60	0,51
20	0,61	0,43	6,25	0,35
21	0,42	0,39	8,61	0,38
24	0,93	0,76	10,39	0,41

Fuente: elaboración propia

Entorno de circulación motorizada. Alternativa S.1

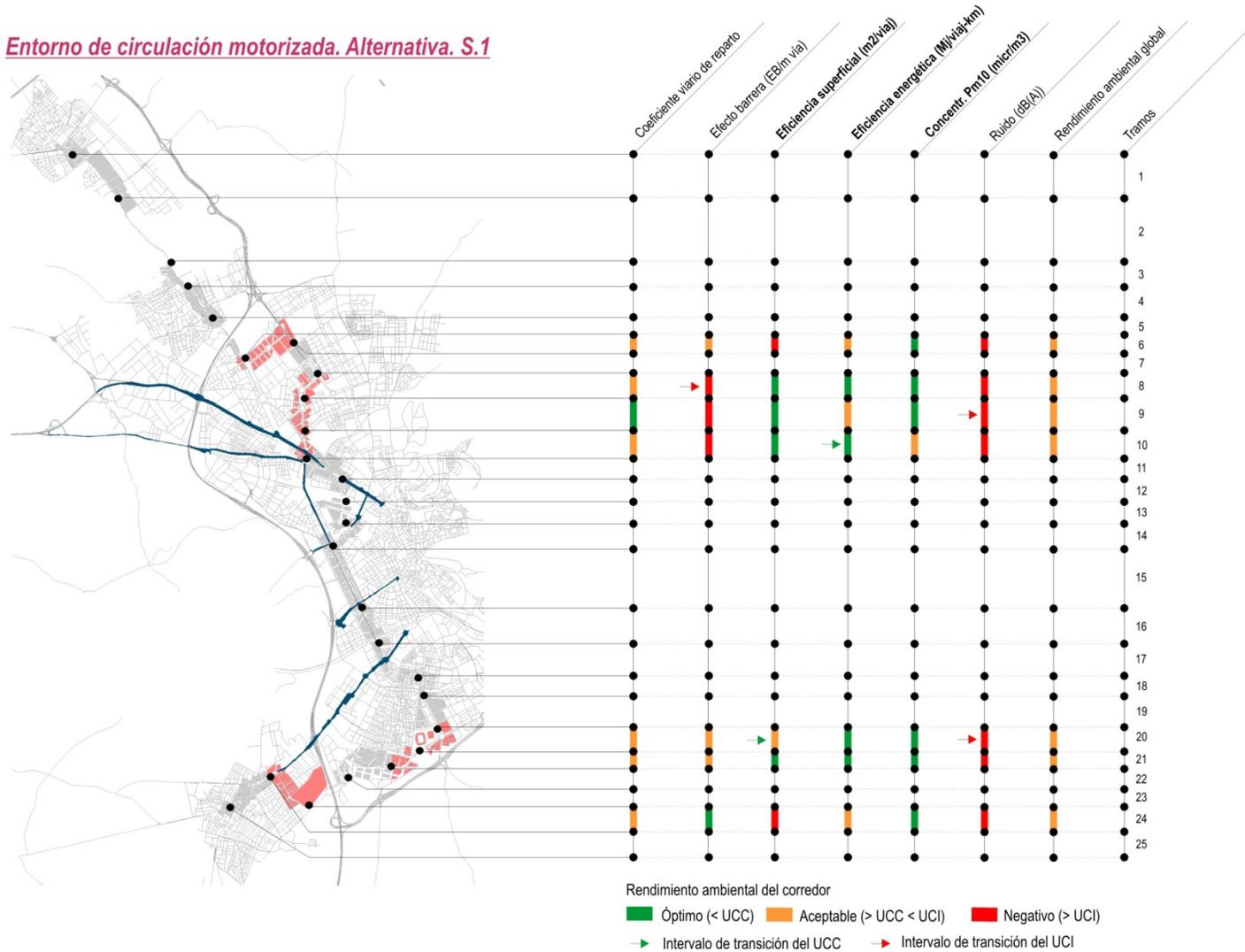


Figura 5.46. Niveles de rendimiento ambiental del corredor en el entorno de circulación motorizada. Alternativa S.1. Fuente: elaboración propia

En síntesis, destacar que a pesar de que el rendimiento ambiental global muestra un ligero empeoramiento en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, especialmente consecuencia de aquellos tramos que forman parte de *intervalos de transición* de los umbrales ambientales definidos (tramos 20 y 21), si se atiende de manera específica a aquellos indicadores más determinantes en función de las características del *entorno de movilidad*, se puede concluir con que la opción representada por la alternativa S.1 mejora respecto de la alternativa S.0 muchos de estos aspectos.

Tabla 5.29. Comparación ambiental entre la alternativa S.0 y S.1 para el *entorno de circulación motorizada*

Indicadores	Alternativas			Observaciones
	Niveles Rend. ambiental	S.0 (Nº tramos)	S.1 (Nº tramos)	
Efic. Superficial	Óptimo	1	4	
	Aceptable	1	1	
	Negativo	5	2	
Efic. Energética	Óptimo	1	4	
	Aceptable	6	3	
	Negativo	0	0	
Concentración PM ₁₀	Óptimo	7	7	Los tramos 20 y 24 disminuyen su concentración de PM ₁₀ en la alternativa S.1 a pesar de que tienen un rendimiento aceptable en la alternativa S.0
	Aceptable	0	0	
	Negativo	0	0	
Rendimiento Global	Óptimo	1	0	
	Aceptable	5	6	
	Negativo	1	0	

Fuente: elaboración propia

El ejemplo más evidente de la situación expuesta, está representado por los indicadores relativos al uso de energía y otros recursos por parte de la movilidad urbana. Los tramos con *rendimiento negativo* se reducen de 5 a 2 en el caso de la eficiencia superficial de la movilidad urbana. En esta misma dirección, la alternativa S.1 reduce de 6 tramos a 3, aquellos con un *rendimiento aceptable* para la eficiencia energética, incrementando en 3 tramos aquellos con un *rendimiento óptimo*.

Finalmente, el caso de la concentración de PM₁₀ es bastante significativo de la situación expuesta, donde no solo todos los tramos conservan en la alternativa S.1 el *rendimiento óptimo* existente en la alternativa S.0, sino que en los tramos 20 y 24 se continúa reduciendo la concentración de este contaminante.

Entorno de circulación motorizada

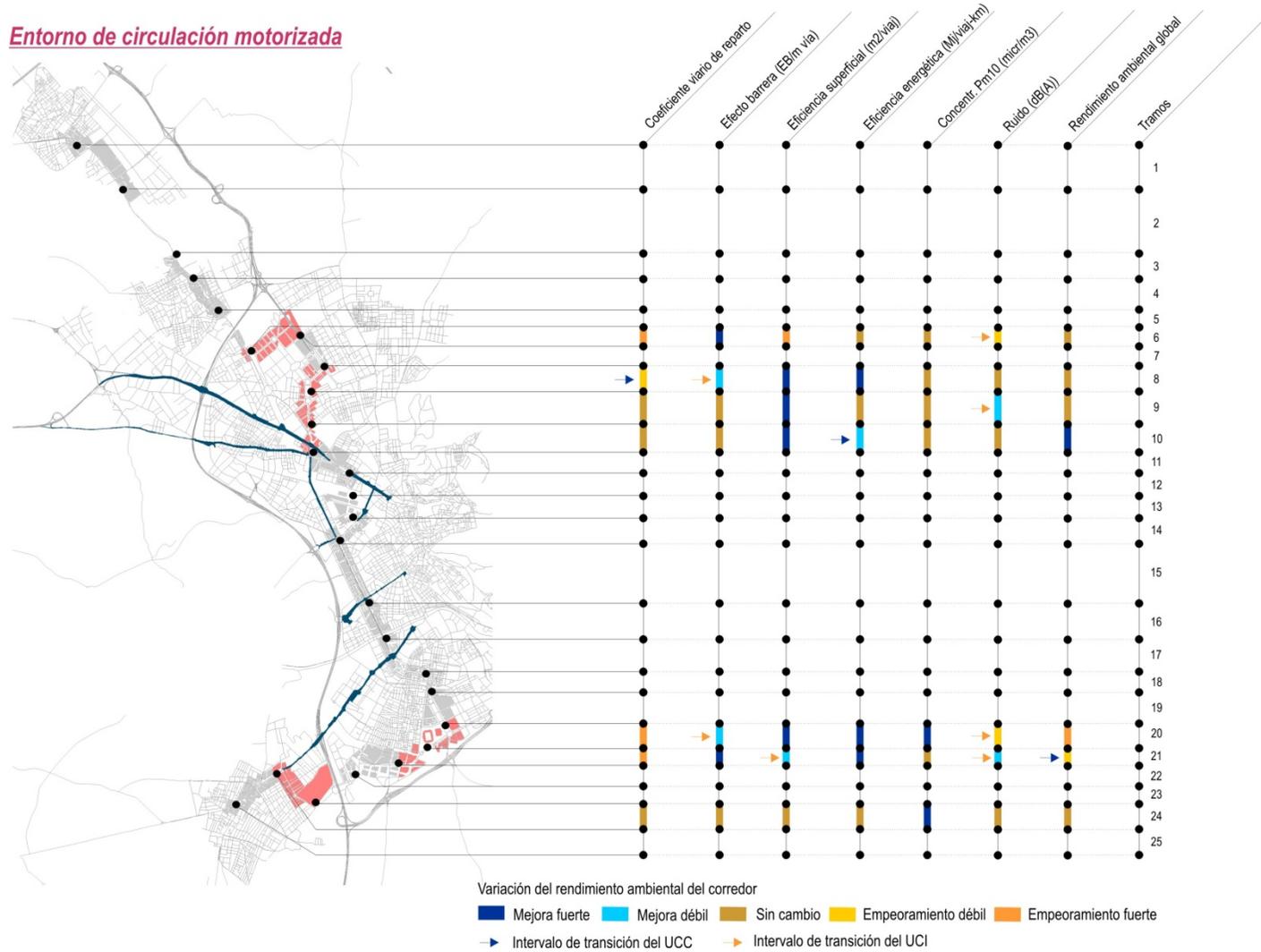


Figura 5.47. Variaciones del rendimiento ambiental entre la alternativa S.0 y S.1. *Entorno de circulación motorizada.* Fuente: elaboración propia

5.4.4 Rendimiento ambiental en el “entorno de centralidad metropolitana”

El entorno de centralidad metropolitana hace referencia a aquellos tramos del corredor cuya movilidad está caracterizada por una fuerte especialización urbana, básicamente en lo que respecta a los usos industrial-tecnológico y equipamientos públicos. Esta situación hace que los tramos que conforman este *entorno*, sean unos de los principales centros de atracción y generación de flujos de movilidad dentro del corredor. Consecuencia de su fuerte especialización urbana, la actividad residencial está muy reducida en estos lugares.

Las demandas ambientales para este *entorno de movilidad* son muy similares al caso particular del *entorno de circulación motorizada*, en la medida y el principal objetivo pasa por garantizar los flujos de movilidad necesarios de cara al funcionamiento de estos centros especializados, a través de la máxima eficiencia ambiental para ello, conjuntamente con la recuperación de espacio para el peatón.

En consecuencia con lo anterior, las principales intervenciones sobre este *entorno de circulación motorizada* deberían estar orientadas a:

- Alcanzar altas eficiencias en el uso de energía y otros recursos, derivado de su fuerte papel como lugares de tránsito motorizado.
- Recuperar espacio para el peatón con el fin de fortalecer situaciones de intermodalidad entre modos motorizados y no motorizados, lo que puede contribuir a reducir el flujo de vehículos privados para este entorno de movilidad.

Se consideran determinantes para evaluar el rendimiento ambiental, los indicadores de eficiencia energética y eficiencia superficial de la movilidad urbana, conjuntamente con la concentración de PM₁₀ y el coeficiente viario de reparto (ver apartado 5.4)

A nivel del rendimiento ambiental global, el *entorno de centralidad metropolitana* incrementa ligeramente su nivel de rendimiento ambiental global en la alternativa S.1, como consecuencia de la mejora leve que experimenta el tramo 2 entre las paradas de Juncaril y Vicuña, pasando de un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.1 a un *rendimiento óptimo* pero dentro del intervalo de transición del UCC. Por el contrario, los tramos 13, 22 y 23 conservan el nivel de rendimiento ambiental existente en la alternativa S.0, siendo *óptimo* en el caso del tramo 13 y *aceptable* para los dos tramos 22 y 23.

Abundando sobre los resultados obtenidos en la alternativa S.0 (ver tabla 5.30 y figura 5.48), la eficiencia superficial presenta 3 de los 4 tramos con *rendimientos bajos* (tramos 2, 22 y 23), mientras que el tramo 13 tiene un *rendimiento óptimo*. La eficiencia energética presenta para los tramos 2 y 22 un *rendimiento aceptable*, aunque con el tramo 22 dentro del intervalo de transición del UCC, mientras que los dos tramos restantes tienen un *rendimiento óptimo* en el caso del tramo 13 y un *rendimiento bajo* en el caso del tramo 23.

En cuanto a la concentración de PM₁₀, sus resultados en la alternativa S.0 son muy positivos, ya que los cuatro tramos que conforman este *entorno de movilidad* presentan un *rendimiento óptimo*.

El último indicador que integra el análisis de la alternativa S.0 es el coeficiente viario de reparto, que posee un *rendimiento aceptable* en todos los tramos, con excepción del tramos 13 que tiene un *rendimiento óptimo*.

Tabla 5.30. Indicadores de rendimiento ambiental para el *entorno de centralidad metropolitana*. Alternativa S.0

Tramos	Uso modal viario	Usos de energía y otros recursos		Emisión de residuos o desechos	Valor ambiental global
	Coeficiente viario de reparto	Efi. Superf. (m ² /pasajero-Km)	Efi. Energ (Mj/pasajero-Km)	Conc. De PM10 (µgr/m ³)	
2	2,67	1,84	0,75	6,00	0,34
13	1,58	0,13	0,02	2,35	0,07
22	2,09	1,01	0,79	10,46	0,30
23	1,93	1,53	2,36	16,75	0,39

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos para la alternativa S.1 (ver tabla 5.31 y figura 5.48) reflejan que, los niveles de rendimiento ambiental derivados de la eficiencia superficial de la movilidad urbana, permanecen prácticamente inalterados entre las dos alternativas evaluadas, registrándose únicamente una mejora débil en el tramo 22, que pasa de un *rendimiento negativo* en la alternativa S.1 a un *rendimiento aceptable*, aunque dentro del *intervalo de transición* del UCI, mientras que el resto de tramos no alteran sus niveles de rendimiento, de los cuáles, tanto el tramo 2 como el 23 tienen un *rendimiento negativo*. El caso de la eficiencia energética es diferente del anterior, ya que registra en la alternativa S.1 hasta tres mejoras fuertes respecto de los resultados analizados para la alternativa S.0. Estas tres mejoras fuertes se producen en los tramos 2 y 22 que pasan de un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.0 a un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.1 y, el tramo 23 que pasa de un *rendimiento negativo* a un *rendimiento aceptable*.

Entorno de circulación motorizada. Alternativa S.0

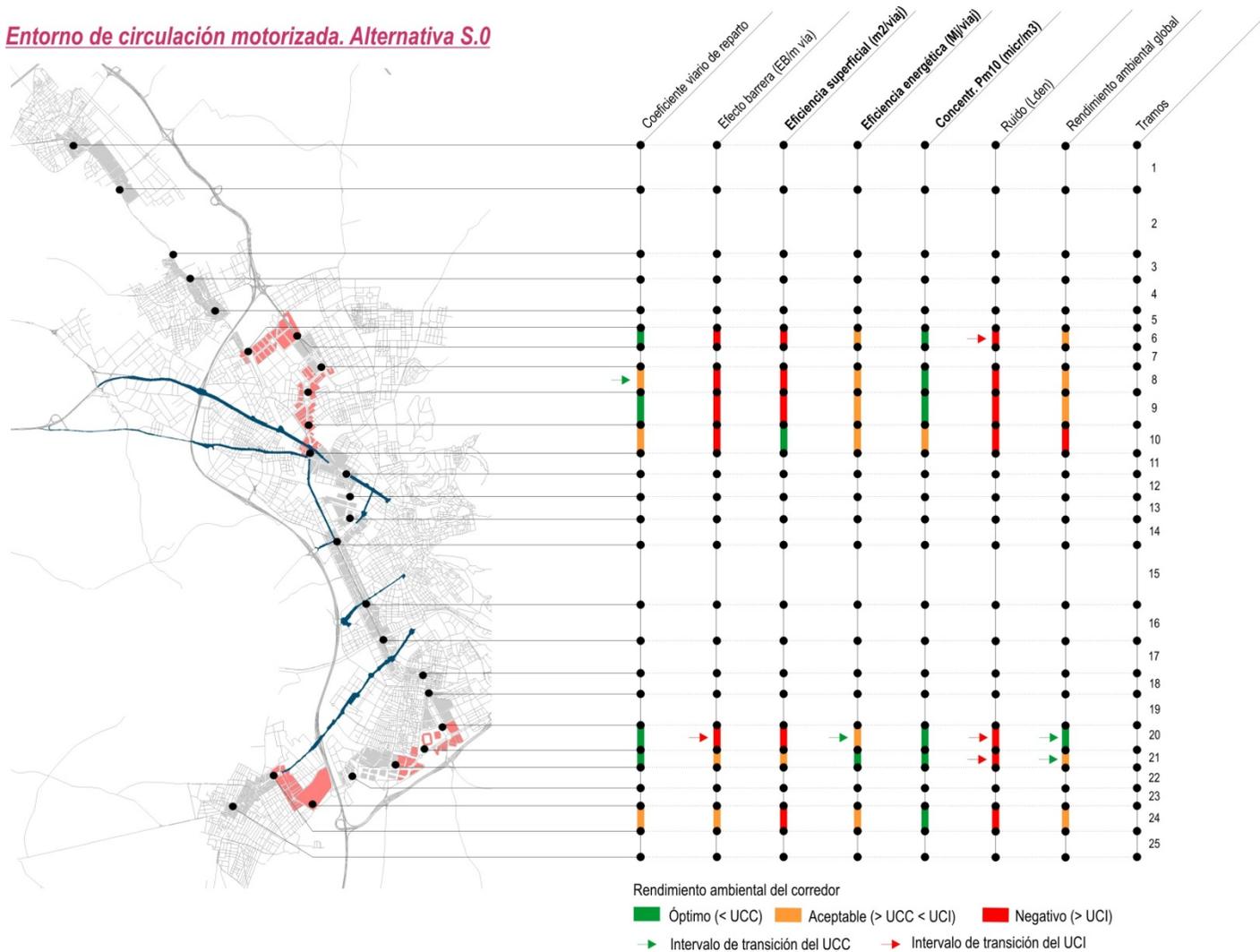


Figura 5.48. Niveles de rendimiento ambiental del corredor en el entorno de centralidad metropolitana. Alternativa S.0. Fuente: elaboración propia

En cuanto a la concentración de PM₁₀, indicar que todos los tramos mantienen en la alternativa S.1 el *rendimiento óptimo* presente en la alternativa S.0, existiendo tramos como el 2 y el 23, donde incluso disminuye la concentración de PM₁₀ en la alternativa S.1.

Finalmente, en lo que respecta al coeficiente viario de reparto, indicar que con la excepción de un empeoramiento débil en el caso del tramo 23 que pasa de estar integrado en el *intervalo de transición* del UCC en la alternativa S.0 a tener un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.1., el resto de tramos presentan *rendimientos óptimos* en la alternativa S.1, de los cuales, el tramo 13 ya tenía ese nivel de rendimiento en la alternativa S.0, mientras que los dos tramos restantes (tramos 2 y 22) tenían *rendimientos aceptables*.

Tabla 5.31. Indicadores de rendimiento ambiental para el *entorno de centralidad metropolitana*. Alternativa S.1

Tramos	Uso modal viario	Usos de energía y otros recursos		Emisión de residuos o desechos	Valor ambiental global
	Coefficiente viario de reparto	Efi. Superf. (m ² /pasajero-Km)	Efi. Energ (Mj/pasajero-Km)	Conc. De PM10 (µgr/m ³)	
2	1,66	3,18	0,46	3,32	0,29
13	1,06	0,17	0,09	2,33	0,03
22	2,79	0,79	0,57	10,65	0,49
23	1,66	1,26	0,97	14,63	0,50

Fuente: elaboración propia

Entorno de circulación motorizada. Alternativa. S.1

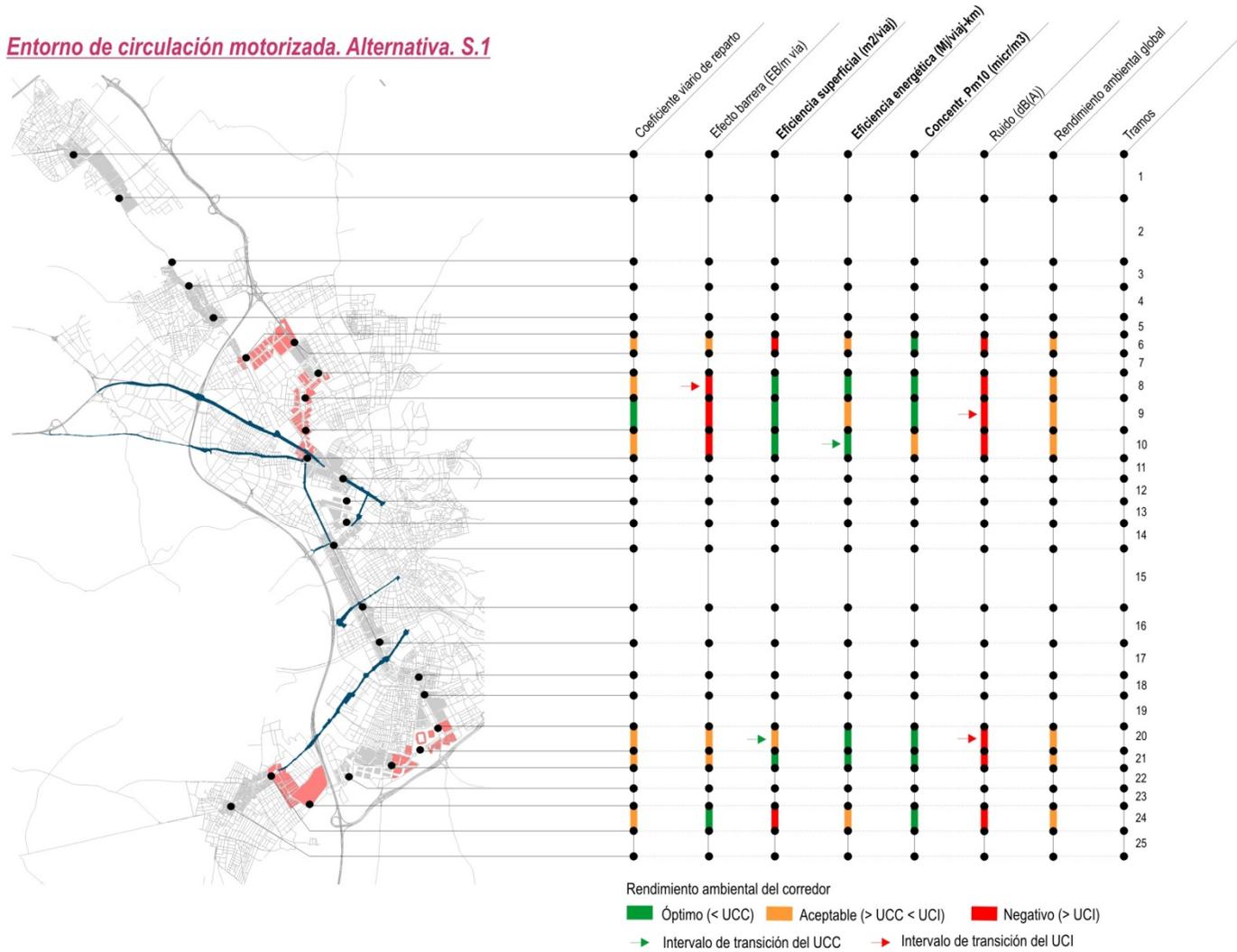


Figura 5.49. Niveles de rendimiento ambiental del corredor en el entorno de centralidad metropolitana. Alternativa S.1. Fuente: elaboración propia

En síntesis, indicar que teniendo en cuenta las características de este *entorno de centralidad metropolitana*, así como, los indicadores considerados determinantes en su análisis, la opción representada por la alternativa S.1 no da solución a muchas de las demandas ambientales identificadas como importantes en esta investigación. Con excepción de la eficiencia energética de la movilidad urbana, donde registra tres mejoras fuertes en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 (tramos 2, 22 y 23), conjuntamente con la concentración de PM₁₀ que mantienen en la alternativa S.1 el *rendimiento óptimo* para todos sus tramos, ya existente en la alternativa S.0., el resto de indicadores –eficiencia superficial y coeficiente viario de reparto- no mejoran su nivel de rendimiento ambiental e incluso en algún caso se empeora en la alternativa S.1 (ver tabla 5.33).

Tabla 5.32. Comparación ambiental entre la alternativa S.0 y S.1 para el *entorno de centralidad metropolitana*

Indicadores	Alternativas			Observaciones
	Niveles Rend. ambiental	S.0 (Nº tramos)	S.1 (Nº tramos)	
Efic. Superficial	Óptimo Aceptable Negativo	1 0 3	1 1 2	
Efic. Energética	Óptimo Aceptable Negativo	1 2 1	3 1 0	
Concentración PM ₁₀	Óptimo Aceptable Negativo	4 0 0	4 0 0	Los tramos 2 y 23, a pesar de tener un <i>rendimiento óptimo</i> en la alternativa S.0, consiguen disminuir su concentración de PM ₁₀ en la alternativa S.1
Coef. Viario Reparto	Óptimo Aceptable Negativo	1 3 0	3 1 0	
Rendimiento Global	Óptimo Aceptable Negativo	1 3 0	2 2 0	

Fuente: elaboración propia

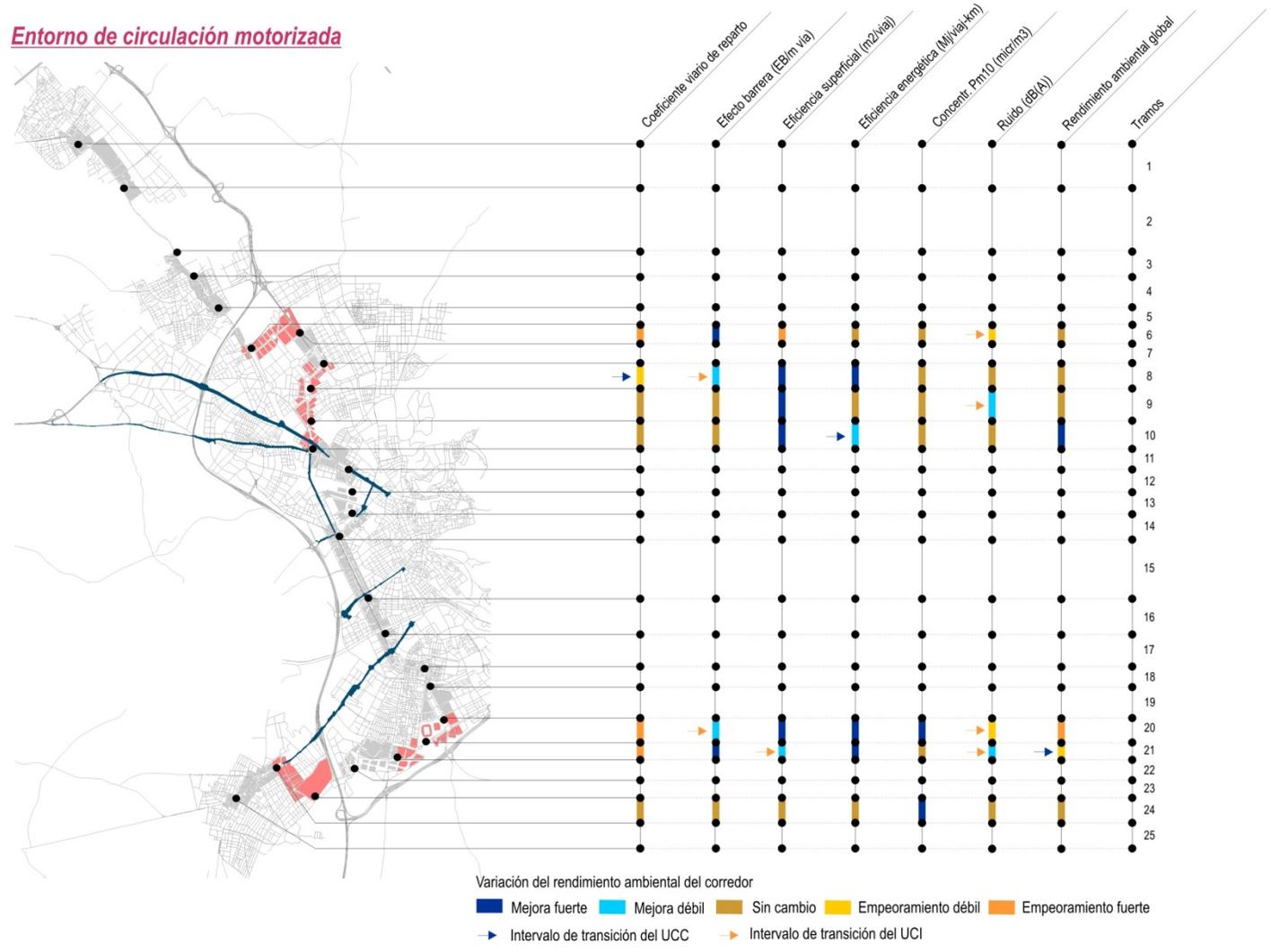


Figura 5.50. Variaciones del rendimiento ambiental entre la alternativa S.0 y S.1. *Entorno de centralidad metropolitana.* Fuente: elaboración propia

5.4.5 Rendimiento ambiental en el entorno orientado a estaciones de transporte público

El *entorno de movilidad orientado a estaciones de transporte público* hace referencia a un tipo particular de *entorno de centralidad metropolitana*, que por su relevancia como lugar específico orientado al tránsito y a la movilidad, conviene tratar de forma separada a los anteriores. La distinción básica radica en el hecho de que este entorno está marcado por la localización de las principales estaciones de transporte público del corredor, como son la estación de autobuses en la zona norte y la estación de tren (futura estación de AVE) en la sección central de éste. Su lógica es diferente al resto de *entornos* en la medida y una gran parte de los ciudadanos que se mueven a través de éstos lo hacen para cambiar de modo de transporte y salir fuera del corredor usando transporte público. Este tratamiento específico como entornos particulares de movilidad es sugerido por autores como Bertolini y Dijst (2003).

Las características particulares de composición y estructura urbana donde se localizan tales entornos de movilidad junto con sus funciones de cara a la movilidad en transporte público, obligan al igual que ocurría con el caso particular de *los entornos de proximidad y distribución circulatoria*, a buscar una reforma ambiental amplia tanto en aquellos factores que tienen relevancia de cara a una movilidad local, consecuencia de sus propias características urbanas (ver apartado 5.4), al mismo tiempo que se precisa optimizar los elevados flujos de movilidad motorizada presente y que en gran parte está vinculada al efecto de las estaciones de transporte público.

Las propuestas para este *entorno de movilidad* deberían estar orientadas a:

- Recuperar espacio de la sección viaria del corredor como espacio verde, peatonal y para la bicicleta, junto con un aumento de la permeabilidad de la sección viaria del corredor que fomente tales modos de movilidad alternativa.
- Alcanzar altas eficiencias en la utilización de recursos y energía por parte de la movilidad del corredor, como consecuencia de la intensidad de su circulación motorizada.
- Procurar que los flujos motorizados mantengan unos niveles adecuados de calidad del aire, especialmente en lo que tiene que ver con la emisión de gases nocivos para la salud público y el ruido.

Consecuencia de los aspectos previamente planteados y desde el punto de vista del sistema de evaluación, cualquiera de los indicadores que integran dicho sistema, son prioritarios para profundizar en la comparación de alternativas para este *entorno orientado a estaciones de transporte público* (ver tabla 5.22, apartado 5.4).

A nivel del rendimiento ambiental global, los las figuras 5.51 y 5.52 muestran como se conservan los *rendimientos aceptables* existentes para los dos tramos que conforman el *entorno* en ambas alternativas.

Profundizando en los resultados obtenidos para los diferentes indicadores que integran el sistema de evaluación en la alternativa S.0, la eficiencia superficial de la movilidad presenta unos resultados favorables, ya que el tramo 12 tiene un *rendimiento óptimo*, mientras que el tramo 7 tiene un *rendimiento aceptable* aunque dentro del intervalo de transición del UCC. El caso de la eficiencia energética es similar, ya que el tramo 7 tiene un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.0, conjuntamente con un *rendimiento aceptable* en el tramo 12.

En lo referente al grupo de indicadores relativos al uso modal de la vía en la alternativa S.0, el coeficiente viario de reparto presenta *rendimientos óptimos* en el caso del tramo 7 y aceptables para el tramo 12 en torno a la estación de Renfe. Por otro lado, el efecto barrera tiene *rendimientos negativos* en ambos tramos.

Finalmente, el último grupo de indicadores está conformado por la concentración de PM₁₀ junto con la emisión de ruido. La concentración de PM₁₀ tiene un *rendimiento óptimo* en el caso del tramo 7 y un *rendimiento aceptable* en el tramo 12, aunque dentro del *intervalo de transición* del UCC. En lo referente a la emisión de ruido, ambos tramos tienen *rendimientos negativos*, aunque el tramo 12 está dentro del *intervalo de transición* del UCI.

Tabla 5.33. Indicadores de rendimiento ambiental para el *entorno orientado a estaciones de transporte público*. Alternativa S.0.

Tramos	Uso modal viario		Uso de energía y otros recursos		Emisión de residuos o desechos		Valor ambiental global
	CVR	Efecto Barrera (EB/m)	Efi. Superf. (m ² /pasajero-km)	Efi. Energ (Mj/pasajero-Km)	Conc. De PM10 (µgr/m ³)	Ruido (dB(A))	
7	1,69	3,55	0,60	0,81	15,68	73,70	0,47
12	2,03	2,46	0,29	0,52	20,43	65,40	0,49

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos en la alternativa S.1 muestran una mejora evidente de la eficiencia superficial de la movilidad, ya que ambos tramos pasan a tener un *rendimiento óptimo*, a la vez que la eficiencia energética del corredor mantiene sus niveles de rendimiento entre las dos alternativas consideradas.

En lo que respecta al coeficiente viario de reparto, los resultados obtenidos en la alternativa S.1 reflejan un empeoramiento débil en el tramo 7, aunque dentro del *intervalo de transición* del UCC, mientras que el tramo 12 posee una mejora fuerte pasando de un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.0 a un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.1. Por el contrario el efecto barrera solo posee una mejora fuerte en el caso particular del tramo 12, pasando de un *rendimiento negativo* en la alternativa S.0 a un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.1.

Entorno estaciones de transporte público. Alternativa S.0

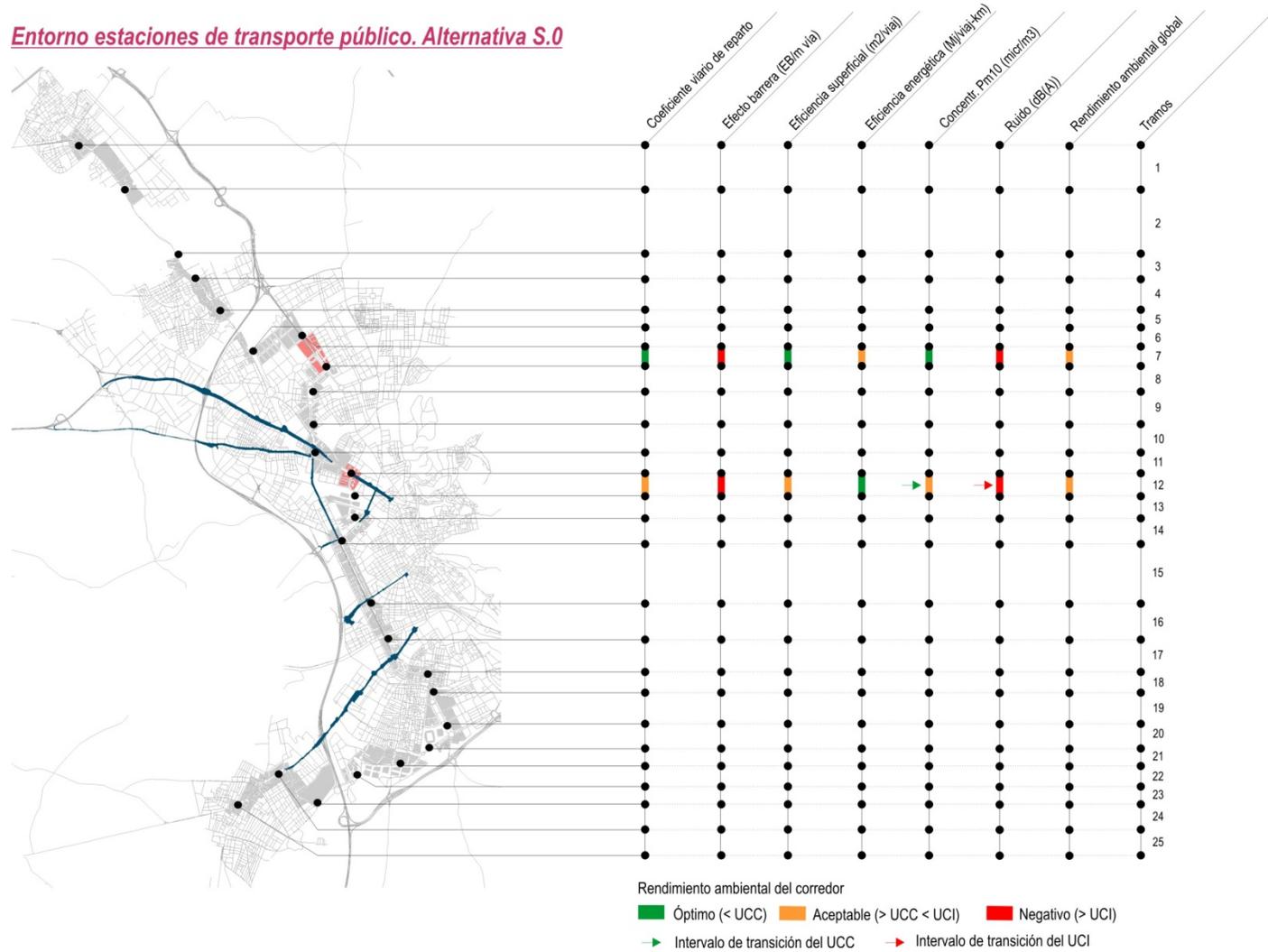


Figura 5.51. Niveles de rendimiento ambiental del corredor en el *entorno estaciones de transporte público*. Alternativa S.0. Fuente: elaboración propia

Tabla 5.34. Indicadores de rendimiento ambiental para el *entorno orientado a estaciones de transporte público*. Alternativa S.1.

Tramos	Uso modal viario		Uso de energía y otros recursos		Emisión de residuos o desechos		Rendimiento ambiental global
	CVR	Efecto Barrera (EB/m)	Efi. Superf. (m ² /pasajero-km)	Efi. Energ (Mj/pasajero-Km)	Conc. De PM10 (µgr/m ³)	Ruido (dB(A))	
7	1,92	2,92	0,32	0,61	14,07	71,00	0,44
12	1,41	1,25	0,07	0,36	16,13	74,00	0,33

Fuente: elaboración propia

Finalmente, los indicadores relativos a la emisión de residuos, muestran una cierta mejora en el caso particular de la concentración de PM₁₀, en concreto en el tramo 12 pasando de un *rendimiento aceptable* pero dentro del *intervalo de transición* del UCC, a un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.1. Por el contrario, los niveles de ruido se mantienen en ambas alternativas con *rendimientos negativos*.

Tabla 5.35. Comparación ambiental entre la alternativa S.0 y S.1 para el *entorno orientado a estaciones de transporte público*

Indicadores	Alternativas			
	Niveles Rend. ambiental	S.0 (Nº tramos)	S.1 (Nº tramos)	Observaciones
Coeficiente viario reparto	Óptimo	1	1	
	Aceptable	1	1	
	Negativo	0	0	
Efecto Barrera	Óptimo	0	0	
	Aceptable	0	1	
	Negativo	2	0	
Efic. Superficial	Óptimo	1	2	
	Aceptable	1	0	
	Negativo	0	0	
Efic. Energética	Óptimo	1	1	
	Aceptable	1	1	
	Negativo	0	0	
Concentración PM ₁₀	Óptimo	1	2	El tramo 12 tiene un <i>rendimiento aceptable</i> en la alternativa S.0 aunque dentro del <i>intervalo de transición</i> del UCC, que es <i>óptimo</i> en la alternativa S.1
	Aceptable	1	0	
	Negativo	0	0	
Emisión ruido	Óptimo	0	0	El tramo 12 está dentro del <i>intervalo de transición</i> del UCI, aunque esta situación no se aprovecha en la alternativa S.1
	Aceptable	0	0	
	Negativo	2	2	
Rendimiento Global	Óptimo	0	0	
	Aceptable	2	2	
	Negativo	0	0	

Fuente: elaboración propia

Entorno estaciones de transporte público. Alternativa S.1

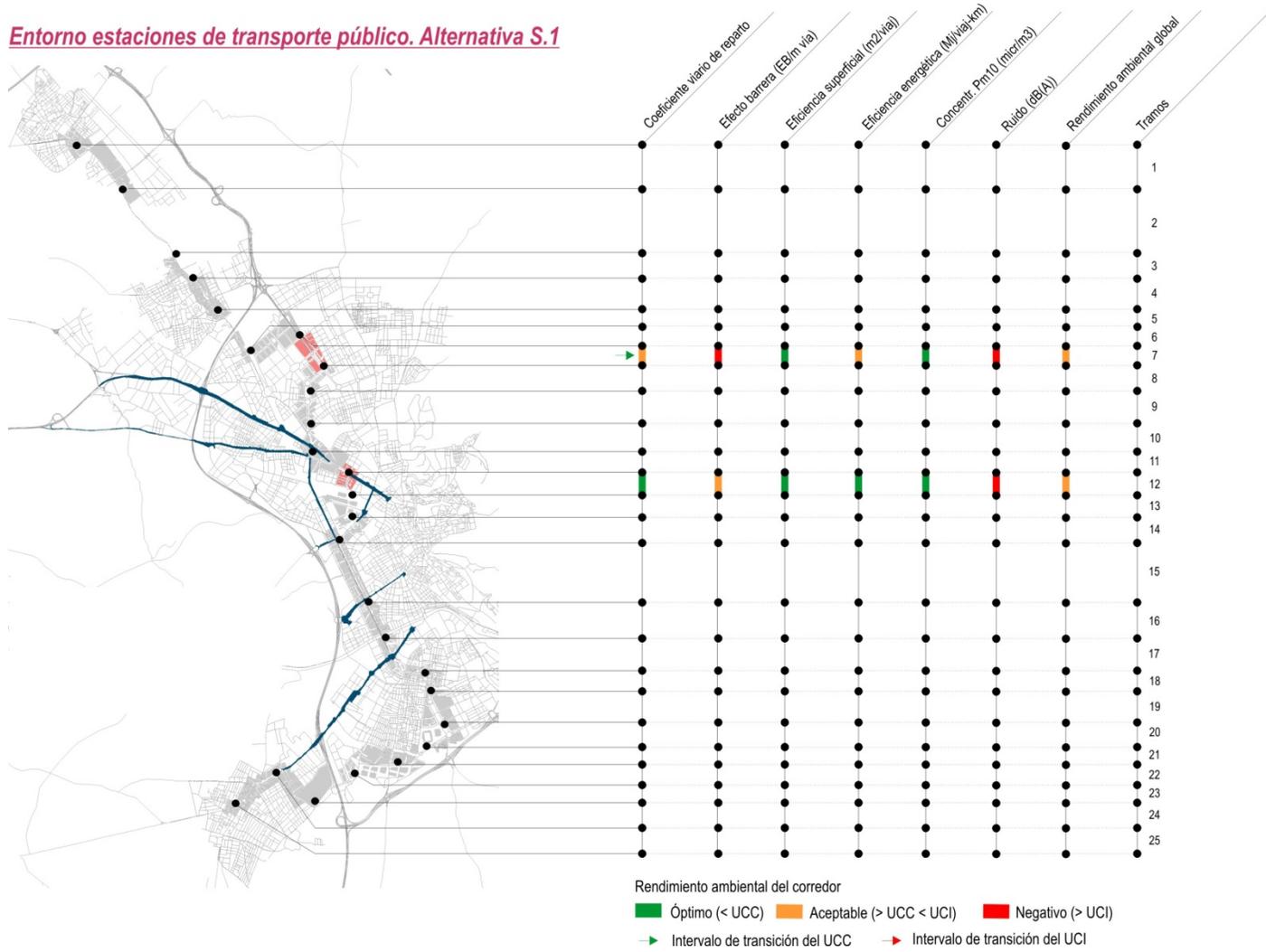


Figura 5.52. Niveles de rendimiento ambiental del corredor en el *entorno estaciones de transporte público*. Alternativa S.1. Fuente: elaboración propia

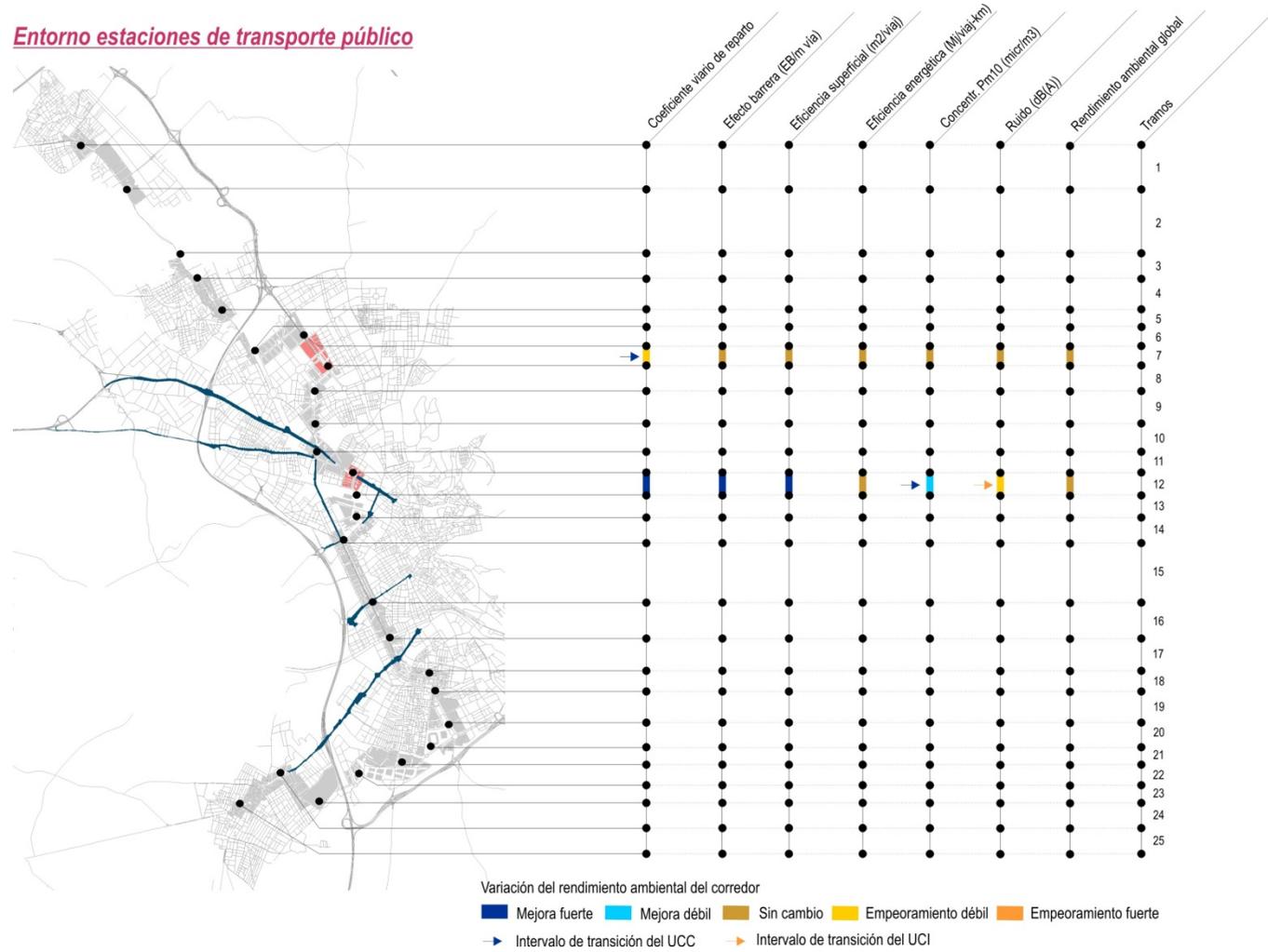


Figura 5.53. Variaciones del rendimiento ambiental entre la alternativa S.0 y S.1. *Entorno estaciones transporte público*. Fuente: elaboración propia

5.5 Conclusiones

5.5.1. Sobre los “entornos de movilidad” y la comparación de alternativas

Poner en relación los resultados del sistema de indicadores desarrollado en los capítulos 3 y 4 con las características urbanas y de movilidad del entorno urbano inmediato al corredor, ha permitido obtener nuevas lecturas en la comparación de alternativas, desde una dimensión integrada de los usos del suelo y los modos de viaje. En este sentido, conviene destacar los siguientes aspectos:

- La evaluación de alternativas en capítulos anteriores mostraba una evidente mejora de los indicadores de rendimiento propuestos en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0. Ahora bien, a lo largo del capítulo se ha podido comprobar que aunque la alternativa S.1 por lo general contribuye a incrementar el rendimiento ambiental del corredor, no siempre orienta su propuesta hacia aquellos factores que podrían ser más determinantes en según qué lugares de éste.
- Como ejemplo de lo anterior, destacar que aunque de forma global se puede ver como el indicador efecto barrera presenta mejores niveles de rendimiento ambiental en la alternativa S.1 que en la alternativa S.0 (ver apartado 4.4.3.2 en el capítulo 4), los tramos donde se producen tales mejoras de rendimiento no siempre forman parte de *entornos de movilidad* que por su carácter local y su capacidad de movilidad por proximidad, sea más prioritario impulsar modos de movilidad no motorizados (ver ejemplo del *entorno de proximidad y distribución circulatoria* en el apartado 5.4.2). Esta misma situación ocurre en el caso del coeficiente viario de reparto, que a pesar de ser uno de los indicadores que presenta más cambios en sus niveles de rendimiento ambiental entre los diferentes tramos del corredor (ver apartado 4.4.3.1 en el capítulo 4), prácticamente nunca se producen cambios de rendimiento favorables en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, en aquellos *entornos de movilidad* donde podría ser una cuestión prioritaria dotar de un mayor espacio para una movilidad no motorizada (ver el ejemplo del *entorno de proximidad y alcance local* y del *entorno de proximidad y distribución circulatoria* en los apartados 5.4.1 y 5.4.2).
- El ejemplo contrario ocurre en el *entorno de circulación motorizada* (ver apartado 5.4.3), donde a pesar de que el rendimiento ambiental global se mantiene prácticamente constante entre las dos alternativas evaluadas, incluso indicando un ligero empeoramiento en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, cuando se analizan los indicadores más relevantes de acuerdo a sus características particulares, en todos ellos, los tramos que integran este *entorno de movilidad* alcanzan rendimientos ambientales más favorables en la alternativa S.1 que en la alternativa S.0. De esta forma, el *entorno de circulación motorizada* junto a los otros dos *entornos de movilidad* previamente citados, son buenos ejemplos para valorar la riqueza de matices que aporta la definición de *entornos de movilidad* en la evaluación comparada del rendimiento ambiental para las diferentes alternativas en evaluación.

- En vista de los resultados obtenidos, se podría decir que el *entorno de circulación motorizada*, el *entorno de centralidad metropolitana* y el *entorno orientado a estaciones de transporte público*, son aquellos donde la alternativa S.1 induce mejoras en el nivel de rendimiento de aquellos indicadores que son más determinantes en las características del propio *entorno de movilidad*. Por el contrario, el *entorno de proximidad y alcance local* y el *entorno de proximidad y distribución circulatoria*, son ejemplos de entornos donde, la alternativa S.1 sin inducir disminuciones en los niveles de rendimiento ambiental existentes en la alternativa S.0, no logra mejorar el rendimiento de aquellos indicadores que son más prioritarios para tales *entornos de movilidad*.
- La elección de aquellos indicadores de rendimiento considerados más determinantes o importantes para cada *entorno de movilidad*, se ha realizado tomando como base las características particulares identificadas en cada uno de los *entornos* (ver tabla 5.20 en el apartado 5.4). Ahora bien, de cara a una posible aplicación del método en otro contexto o con vistas a su posible mejora, incorporar sistemas de consulta a expertos o ciudadanos residentes en esos lugares, podría otorgar una mayor precisión a los resultados obtenidos.

5.5.2. Sobre el método para identificar “entornos de movilidad”

El método desarrollado gravita sobre diferentes conceptos (*componentes de los entornos de movilidad, indicadores y vectores de movilidad*), que interactúan de una forma secuencial hasta la definición final de entornos de movilidad (ver figura 5.54). Tales conceptos han sido definidos como:

- *Componentes*: bloques sobre los que se identifican y definen los *entornos de movilidad*. En este caso, tales bloques son la estructura urbana y los accesos y modos de viaje en el corredor.
- *Indicadores*: miden diferentes dimensiones de cada uno de los componentes que integran los *entornos de movilidad*.
- *Vectores de movilidad*: aspectos relacionados con la movilidad del corredor, sobre los que interpretar los resultados de cada indicador como paso previo a la identificación de *entornos de movilidad*.

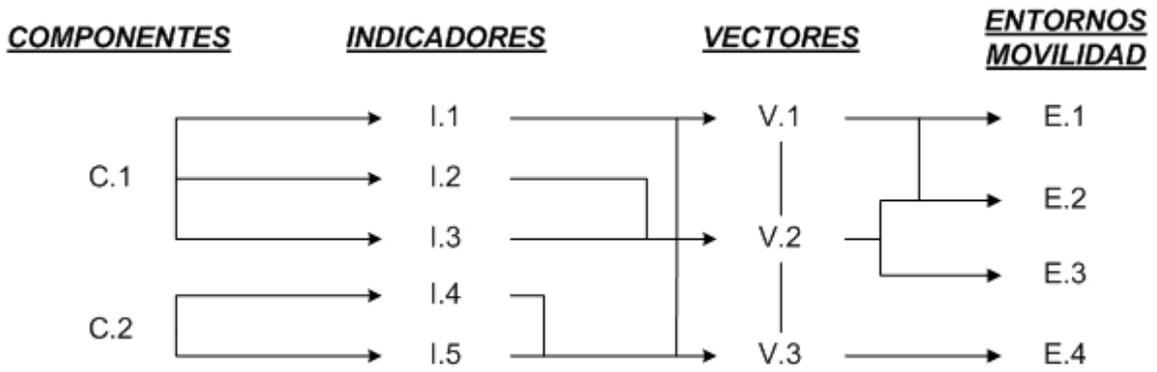


Figura 5.54. Método seguido en la identificación de *entornos de movilidad*. Fuente: elaboración propia

La aplicación del método propuesto al caso particular de esta investigación ha contado con tres fases: (i) Definición de *componentes, indicadores y vectores de movilidad* para el caso de estudio; (ii) Matriz de interacción entre *indicadores y vectores de movilidad*; (iii) Definición de *entornos de movilidad*. La figura 5.55 ilustra los componentes, indicadores y vectores de movilidad utilizados, así como, su interacción hasta la definición final de entornos de movilidad.

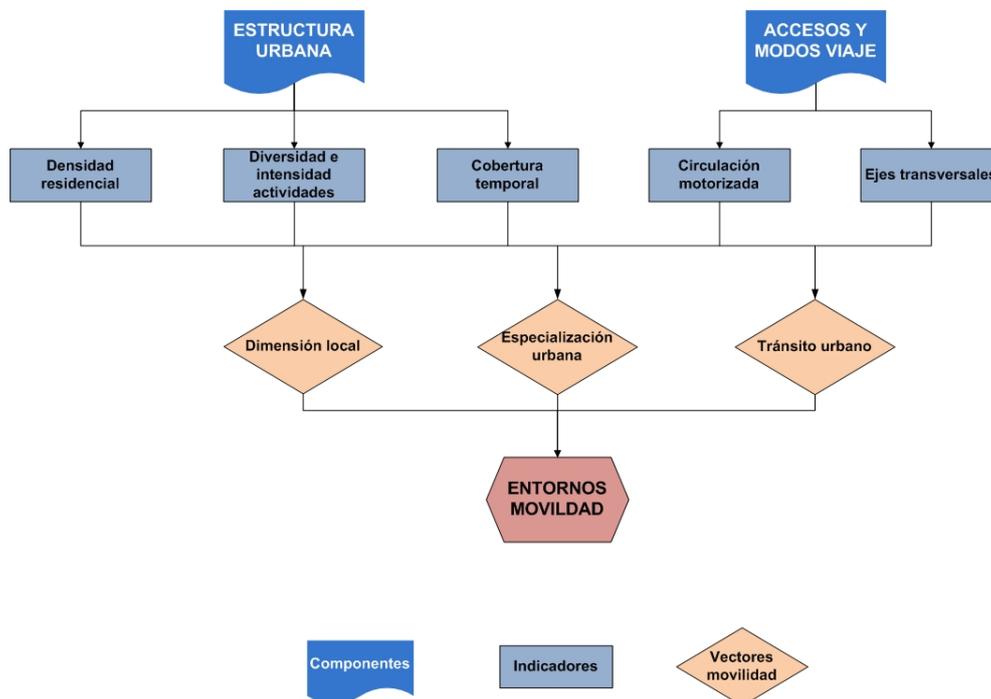


Figura 5.55. Componentes, indicadores y vectores de movilidad utilizados en la identificación y definición de *entornos de movilidad*. Fuente: elaboración propia

A nivel operativo se ha trabajado en un ámbito de influencia de 250m en torno al corredor, mediatizado por la disponibilidad de información, aunque dicho ámbito de influencia debe ser modificado en función de cada contexto.

Entre los diferentes indicadores destaca fundamentalmente el estudio de la influencia de ejes transversales, dada la propia naturaleza del caso de estudio. De esta forma, el estudio de tales ejes transversales ha servido para complementar y apoyar los resultados del resto de indicadores, especialmente en lo que respecta a:

- El papel del corredor como itinerarios motorizados, consecuencia de la conexión del corredor con ejes transversales con importantes flujos de tráfico y que permiten conectar al corredor con la circunvalación de la ciudad, con grandes centros comerciales o con áreas industriales sin continuidad espacial con el corredor.
- El papel del corredor como itinerarios peatonalizados o de movilidad por proximidad, como consecuencia de la conexión del corredor con ejes transversales articulados a partir de importantes dotaciones de espacio público, o bien, a través de una alta actividad comercial.

Algunas de las características principales del método propuesto para la identificación de *entornos de movilidad* son:

- *Flexibilidad y capacidad exportable*: tal y como se puede apreciar a lo largo del capítulo, el método propuesto es flexible en cuanto a los *componentes, indicadores y vectores de movilidad* utilizados, lo que lo hace exportable a otros contextos y situaciones que requieran de la evaluación ambiental de la movilidad urbana.
- *Sencillez y aplicabilidad*: cada una de las fases que integran el método se han aplicado de una forma sencilla al caso de estudio, sin necesidad de utilizar softwares adicionales o técnicas complejas que limiten su aplicabilidad para posibles usuarios.

5.5.3. Sobre los “entornos de movilidad” y el caso de estudio

El método ha permitido identificar 5 *entornos de movilidad* en el corredor: (i) Entorno de proximidad y alcance local; (ii) Entorno de proximidad y distribución circulatoria; (iii) Entorno vinculado a estaciones de transporte público; (iv) Entorno de circulación motorizada; (v) Entorno de centralidad metropolitana

Las principales características de cada uno de estos entornos son:

- El *entorno de proximidad y alcance local* hace referencia a aquellos tramos del corredor cuya movilidad está caracterizada por una fuerte dimensión local del medio urbano y, por lo tanto, la mayoría de sus flujos de movilidad deberían encontrarse altamente mediatizados por demandas locales del entorno inmediato del corredor. La componente de proximidad es muy relevante, por lo que una gran parte de las necesidades de la población residente podrían ser cubiertas sin necesidad de utilizar modos motorizados, de ahí, que no sean espacios que destaquen por ser centros de

atracción de movilidad a nivel metropolitano, como así tampoco, espacios urbanos caracterizados por una alto tránsito urbano.

- El *entorno de circulación motorizada* hace referencia a aquellos tramos del corredor cuya movilidad está caracterizada por una muy débil dimensión local del medio urbano, aspecto que refuerza su condición como lugares de tránsito y/o circulación. De esta forma, la componente de proximidad es poco relevante en la mayoría de casos, por lo que una gran parte de las necesidades de la población residente no pueden ser satisfechas en ese mismo espacio, de ahí, que desde el punto de vista de la movilidad, se conviertan en lugares destinados exclusivamente al tránsito o circulación motorizada desde unos lugares a otros del corredor, o entre el corredor y el resto del sistema urbano, situación que en muchos casos se ve reforzada por su función como itinerarios circulatorios en el diseño de la propia ciudad.
- El *entorno de circulación motorizada* hace referencia a aquellos tramos del corredor cuya movilidad está caracterizada por una muy débil dimensión local del medio urbano, aspecto que refuerza su condición como lugares de tránsito y/o circulación. De esta forma, la componente de proximidad es poco relevante en la mayoría de casos, por lo que una gran parte de las necesidades de la población residente no pueden ser satisfechas en ese mismo espacio, de ahí, que desde el punto de vista de la movilidad, se conviertan en lugares destinados exclusivamente al tránsito o circulación motorizada desde unos lugares a otros del corredor, o entre el corredor y el resto del sistema urbano, situación que en muchos casos se ve reforzada por su función como itinerarios circulatorios en el diseño de la propia ciudad.
- El *entorno de centralidad metropolitana* hace referencia a aquellos tramos del corredor cuya movilidad está caracterizada por una fuerte especialización urbana, básicamente en lo que respecta a los usos industrial-tecnológico y equipamientos públicos. En este sentido, estos lugares se convierten en unos de los principales centros de atracción y generación de flujos de movilidad dentro del corredor.
- El *entorno de movilidad orientado a estaciones de transporte público* hace referencia a un tipo particular de entorno de centralidad metropolitana, que por su relevancia como lugares específicos orientado a la movilidad, conviene tratar de forma separada a los anteriores. La distinción básica radica en el hecho de que este entorno está marcado por la localización de las principales estaciones de transporte público del corredor, como son la estación de autobuses en la zona norte de la ciudad de Granada y la estación de tren (futura estación de AVE) en la sección central del corredor. Su lógica es diferente al resto de *entornos* en la medida y una gran parte de los ciudadanos que se mueven a través de estos entornos lo hacen para cambiar de modo de transporte y salir fuera del corredor a través de transporte público. Este tratamiento específico como entornos particulares de movilidad respecto al resto, es sugerido por autores como Bertolini y Dijst (2003)

CAPÍTULO 6

**CONDICIONANTES DEL RENDIMIENTO AMBIENTAL DE LA
MOVILIDAD URBANA**

CAPÍTULO 6. CONDICIONANTES DEL RENDIMIENTO AMBIENTAL DE LA MOVILIDAD URBANA

ÍNDICE

6.1	Introducción y objetivos	.....	345
6.2	Método para estudiar los “condicionantes ambientales”	.....	348
6.2.1	Estimación de valores de impacto y de óptimo	.....	348
6.2.2	Estimación de parámetros de diagnóstico	.....	349
6.3	Valores de impacto y de óptimo para cada factor del corredor	.....	352
6.3.1	Factores de distribución modal viaria	.....	354
6.3.2	Factores de flujo modal	.....	359
6.3.3	Factores de ocupación modal de viajeros	.....	363
6.3.4	Valores de impacto y de óptimo para cada “entorno de movilidad”	.....	367
6.4	Parámetros de diagnóstico para cada “entorno de movilidad”	.....	369
6.4.1	Parámetros de saturación y rangos de variación ambiental	.....	369
6.4.1.1	Parámetros de saturación del corredor	.....	373
6.4.1.2	Rangos de variación ambiental del corredor	.....	378
6.4.2	Capacidad de absorción y capacidad de mejora de cada “entorno de movilidad”	.....	387
6.5	Conclusiones	.....	390
6.5.1	Sobre la utilidad de estudiar los “condicionantes ambientales” del corredor	.....	390
6.5.2	Sobre el método utilizado y los resultados obtenidos	.....	390

Resumen

El capítulo 6 propone y desarrolla un método para estudiar qué factores de la movilidad urbana son más influyentes en su rendimiento ambiental, conjuntamente con la capacidad que tiene cada *entorno de movilidad* para asumir alteraciones en estos *factores*.

El método se basa en un análisis de sensibilidad, que evalúa cómo varía el rendimiento ambiental del corredor cuando se alteran diferentes *factores* de la movilidad urbana, canalizando sus resultados a través de los siguientes conceptos: (i) Valor de impacto y valor de óptimo de cada *factor*; (ii) Parámetros de saturación ambiental; (iii) Rangos de variación ambiental; (iv) Capacidad de absorción y capacidad de mejora de cada *entorno de movilidad*.

Los resultados obtenidos en este capítulo, además de ser de utilidad para profundizar en la comparación ambiental de alternativas, ayudan a extraer conclusiones sobre posibles modificaciones de cada alternativa, así como, sobre posibles medidas complementarias que contribuyan a mejorar los niveles de rendimiento ambiental del corredor sobre la alternativa seleccionada.

Abstract

The chapter 6 proposes a method to study what mobility's factors have more influence on environmental performance and, how these factors can be modified in each mobility environment.

The method proposed is based on sensitivity analysis, which studies how is the variation of environmental performance of mobility when different factors are modified. For that, it has been proposed 4 analytical concepts: (i) Factor's impact value and factor's optimum value; (ii) Environmental saturation parameter; (iii) Environmental modification interval; (iv) Absorption capacity and improvement capacity for each mobility environment.

Not only are the results of this method useful for environmental comparison of alternatives, but they can help to understand the environmental consequence of alternatives' modifications.

6.1 Introducción y objetivos

Este capítulo aborda la última parte del *modelo de umbrales ambientales*, encargada de analizar qué *factores* de la movilidad urbana son más influyentes en su rendimiento ambiental, junto al estudio de la capacidad que tiene cada *entorno de movilidad* para asumir alteraciones de estos *factores*. Para ello, se propone el concepto de ***condicionantes del rendimiento ambiental o condicionantes ambientales***, cuyo análisis supone una integración de todos los elementos abordados en capítulos anteriores.

Los ***condicionantes del rendimiento ambiental o condicionantes ambientales***, son aquellos *factores* a partir de los cuales se plantea cada una de las alternativas a evaluar y, sobre los que se basa el diseño de indicadores de rendimiento ambiental (ver figura 6.1), de manera que su alteración, puede condicionar los niveles de rendimiento de la movilidad urbana. Tales *factores* pueden ser de dos tipos:

- ***Constantes***: cuyo valor es similar en cada una de las alternativas evaluadas. Por ejemplo: coeficientes modales de consumo de energía, coeficientes modales de emisión de contaminantes, pesos de ponderación para obtener un índice agregado de rendimiento ambiental, etc. Sus posibilidades de cambio suelen estar relacionadas con factores externos al propio planteamiento de las alternativas a considerar, vinculados, por ejemplo, a la eficiencia tecnológica en el caso de los coeficientes ambientales o a la opinión de expertos en el caso de los pesos de ponderación. Por esta razón, estos *factores* no son de interés desde el punto de vista del estudio de los *condicionantes ambientales* en esta investigación.
- ***Variables***: cuyo valor es diferente en cada una de las alternativas, caracterizando a éstas. Por ejemplo: la ocupación modal de viajeros, la distribución de la superficie modal viaria o el flujo modal de vehículos. Sus posibilidades de cambio están directamente relacionadas con medidas que son impulsadas desde el propio planteamiento de cada alternativa. Por lo tanto, conocer cómo influyen en el rendimiento ambiental del corredor es importante de cara a la evaluación ambiental y toma de decisiones. El estudio de los *condicionantes ambientales* estará basado en este segundo tipo de *factores*.

Las principales contribuciones de los *condicionantes ambientales* al *modelo de umbrales* están vinculadas con:

- Conocer a qué *factores* es más sensible el rendimiento ambiental de la movilidad urbana en cada una de las alternativas que se evalúan.
- Conocer en qué alternativas existe una capacidad mayor para asumir alteraciones de tales *factores*, sin que esto tenga consecuencias graves sobre los niveles de rendimiento ambiental.
- Orientar posibles alteraciones de una alternativa en base a la influencia que ejercen sus *factores* en el rendimiento ambiental.

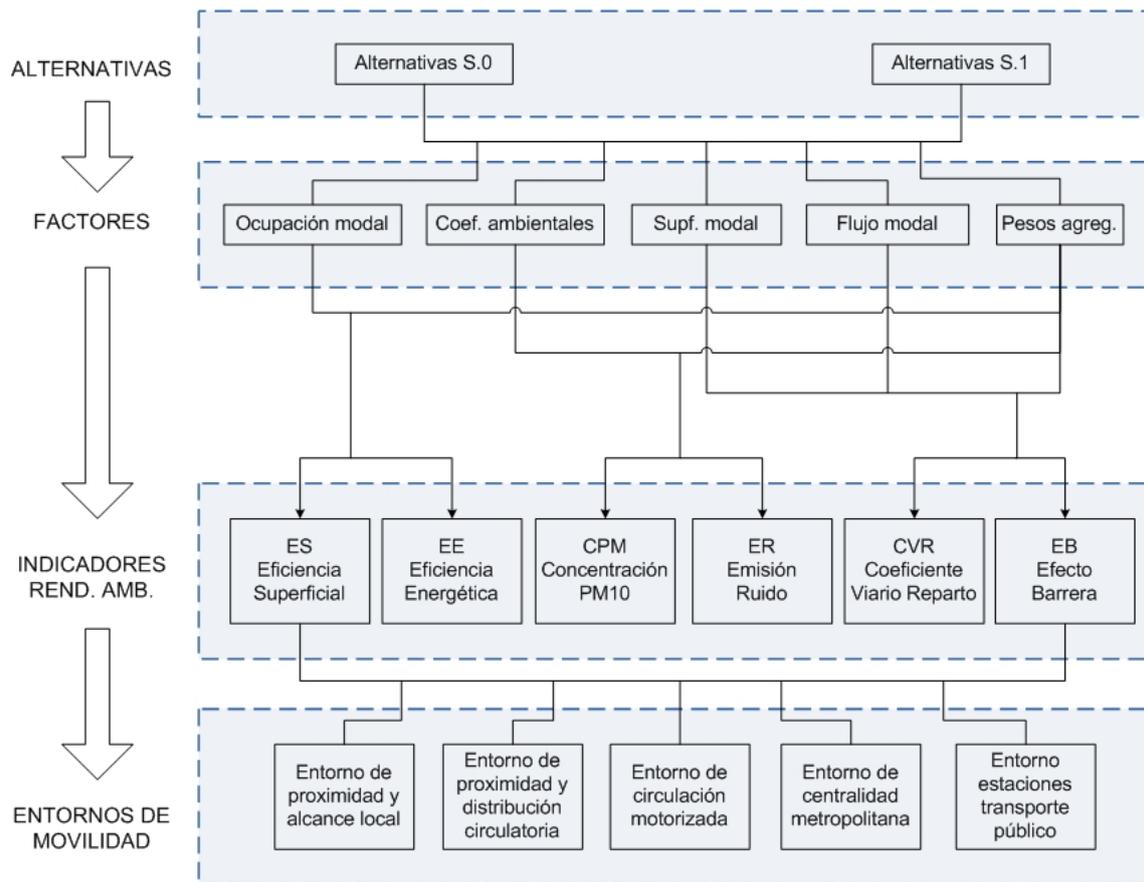


Figura 6.1. Relación entre alternativas, factores, indicadores y entornos de movilidad.

El contenido del capítulo se centra en la propuesta, desarrollo y aplicación, de diferentes conceptos que abordan el estudio de los *condicionantes ambientales*. Se agrupan en dos bloques:

- *Individuales.* Donde cada *factor* es analizado individualmente (ver figura 6.2). Se ocupan de estudiar cuál es el valor de cada *factor* que haría que el rendimiento ambiental del corredor alcance su UCC (**valor de óptimo**) o su UCI (**valor de impacto**), qué *factores* pueden ser alterados bien para incrementar el rendimiento ambiental del corredor o para disminuirlo (**parámetros de saturación ambiental**) y, finalmente, cuál es el margen de alteración que tiene cada *factor* para inducir un incremento del rendimiento ambiental del corredor hasta su UCC, o bien para reducirlo hasta su UCI (**rango de variación ambiental**).
- *Agregados.* Donde todos los *factores* se analizan en conjunto para cada *entorno de movilidad*, (ver figura 6.2), haciendo referencia a medidas globales, relativas a la capacidad del corredor para absorber alteraciones en sus diferentes *factores*, a favor de reducir su rendimiento ambiental (**capacidad de absorción**), o la capacidad del corredor para asumir alteraciones de sus diferentes factores, a favor de mejorar su rendimiento ambiental (**capacidad de mejora**).

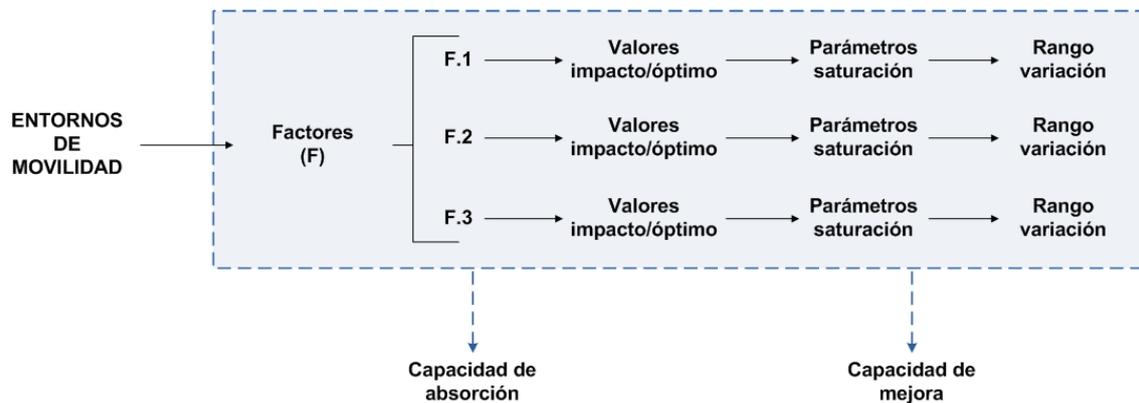


Figura 6.2. Conceptos propuestos para estudiar los *condicionantes ambientales* en cada *entorno de movilidad*. Fuente: elaboración propia

El capítulo se compone de tres partes. La primera parte expone el método diseñado para estudiar los *condicionantes ambientales* (apartado 6.2). La segunda parte aborda la aplicación práctica del método propuesto, orientándolo al caso particular de los *entornos de movilidad* identificados en el capítulo 6 (apartados 6.3 y 6.4). Finalmente, la tercera y última parte recoge las principales conclusiones obtenidas en el capítulo (apartado 6.5).

Los principales objetivos a alcanzar son:

- Proponer y desarrollar un método para estudiar la influencia que ejercen sobre el rendimiento ambiental diferentes *factores* vinculados a la movilidad urbana.
- Identificar para cada *entorno de movilidad* qué *factores*, por un lado, limitan en sentido negativo el rendimiento ambiental del corredor, así como, aquellos *factores* que pueden inducir una mejora más efectiva de dicho rendimiento.
- Analizar la capacidad del corredor en cada *entorno de movilidad*, para asumir alteraciones en sus diferentes factores, tanto a favor de incrementar su rendimiento ambiental como de disminuirlo.

6.2 Método para estudiar los “condicionantes ambientales”

Con el objetivo de hacer más fácil la lectura y comprensión del capítulo, este apartado realiza una descripción general del método propuesto, sin abordar específicamente cómo resolver cada una de sus fases, ya que esta cuestión se irá detallando en los apartados siguientes, como paso previo a su aplicación en el caso de estudio.

El método propuesto para estudiar los *condicionantes ambientales* del corredor consta de dos fases secuenciales: (i) Estimación de *valores de impacto y de óptimo*; (ii) Estimación de parámetros de diagnóstico.

6.2.1 Estimación de valores de impacto y de óptimo

El objetivo de esta fase es identificar para cada *factor* un **valor de impacto**, equivalente al valor del *factor* que haría que el rendimiento ambiental alcance el UCI (umbral crítico de impacto), conjuntamente con un **valor de óptimo**, equivalente al valor del factor que haría que el rendimiento ambiental alcance el UCC (umbral crítico de calidad). Sus resultados pueden expresarse a nivel de todo el corredor o bien por *entorno de movilidad*.

En esta investigación se consideran tres tipos de *factores* con influencia en la movilidad urbana: (i) Factores de distribución modal viaria; (ii) Factores de flujo modal; (iii) Factores de ocupación modal de viajeros. Tal y como se indicó en el apartado introductorio, se seleccionan específicamente estos factores, porque sobre ellos se realiza el planteamiento de las dos alternativas que se evalúan.

La tabla 6.1 recoge los *factores* considerados, así como, los indicadores del sistema de evaluación relacionados con cada *factor*.

Tabla 6.1. Factores seleccionados para el estudio de los *condicionantes ambientales*

<i>Tipo</i>	<i>Factores</i>	<i>Incidencia Indicadores rendimiento ambiental</i>
	Supf Verde y peatonal (m ² /km)	
Distribución modal viaria	Supf Coche (m ² /km)	-Eficiencia superficial movilidad urbana
	Supf Bus (m ² /km)	-Concentración de PM ₁₀
	Supf Metro ligero (m ² /km)	-Coeficiente viario de reparto -Efecto barrera
Flujo modal	Coche (veh/min)	-Eficiencia energética movilidad urbana
	Bus (veh/min)	-Concentración de PM ₁₀
	Metro ligero (veh/min)	-Emisión de ruido -Efecto barrera
Ocupación modal viajeros	Ocupación coche (viaj.)	
	Ocupación bus (viaj.)	-Eficiencia energética movilidad urbana
	Ocupación Metro ligero (viaj.)	-Eficiencia superficial movilidad urbana

La utilidad de los *valores de impacto y de óptimo* reside en que permiten al usuario del *modelo de umbrales*, extraer conclusiones de cómo influye cada *factor* en el rendimiento ambiental del corredor y con qué intensidad lo hace.

Para estimar los *valores de impacto y de óptimo*, se realizará un análisis de sensibilidad que permite estudiar qué ocurre con el rendimiento ambiental del corredor cuando alteramos un *factor* determinado, tomando como punto de partida el valor del *factor* en las alternativas en evaluación. Los análisis de sensibilidad han tenido una alta repercusión en el ámbito económico (Gaval *et al*, 2008), especialmente en el caso de modelos basados en técnicas de elección multicriterio (Saltelli *et al*, 1999), donde comúnmente son alterados los diferentes pesos ponderados con el fin de comprobar qué ocurre en la evaluación final de alternativas o escenarios (Gómez y Bosque, 2004) (Baja *et al.*, 2007); (Geneletti y Van Duren, 2008). En esta investigación no se alterarán los pesos ponderados utilizados para la obtención del índice agregado de rendimiento ambiental, sino que se trata de alterar aquellos *factores* que son diferentes en cada alternativa y que caracterizan a éstas (ver apartado introductorio 6.1).

6.2.2 Estimación de parámetros de diagnóstico

El objetivo de esta fase es la de proponer y desarrollar diferentes conceptos que puedan contribuir a la evaluación ambiental de alternativas. Los conceptos propuestos son:

- **Parámetros de saturación ambiental**, que identifican qué *factores* pueden ser modificados en un *entorno de movilidad* determinado de aquellos que no deberían serlo. Para cada *factor* se calcularán dos *parámetros de saturación*, uno de ellos respecto de su *valor de óptimo* y el otro respecto de su *valor de impacto*.

El *parámetro de saturación* es de utilidad para conocer:

- Qué *factores* por alternativa y *entorno de movilidad* no deberían ser modificados a favor de inducir una reducción del rendimiento ambiental del corredor, ya que sus consecuencias pueden ser graves en términos de rendimiento.
 - Para qué *factores* por alternativa y *entorno de movilidad*, no es efectiva una alteración de su valor a favor de inducir una mejora del rendimiento ambiental, ya que difícilmente supondría alcanzar un nivel de rendimiento ambiental más favorable.
- **Rango de variación ambiental**, que expresa el margen de variación existente para cada *factor* en un *entorno de movilidad* determinado, tanto a favor de incrementar el rendimiento ambiental de la alternativa en evaluación, como de disminuirlo.

El *rango de variación ambiental* da a conocer al usuario el orden de magnitud en que puede ser alterado un *factor* determinado en cada alternativa y *entorno de movilidad*, por lo que aporta información útil de cara a modificar aspectos de las distintas alternativas en evaluación.

- **Capacidad de absorción**, que hace referencia a una medida global que tiene en cuenta el total de *factores considerados* para un *entorno de movilidad*, relativa a la capacidad del corredor para asumir alteraciones en sus diferentes *factores* orientadas a reducir su rendimiento ambiental.

Su principal utilidad está asociada a enriquecer la evaluación y comparación ambiental de alternativas.

- **Capacidad de mejora**, que hace referencia a una medida global que tiene en cuenta el total de *factores considerados* para un *entorno de movilidad*, relativa a la capacidad del corredor para asumir alteraciones en sus diferentes *factores* orientadas a mejorar su rendimiento ambiental.

Al igual que en el caso anterior, su principal utilidad está asociada a enriquecer la evaluación y comparación ambiental de alternativas.

Con el fin de acotar la aplicación del método y dadas las particularidades del caso de estudio de esta investigación, donde están siendo comparadas dos posibles alternativas, relativas a mantener el corredor sin implementar el sistema de metro ligero (alternativa S.0), respecto de reordenar el corredor implementando dicho sistema de transporte público (alternativa S.1), el método será aplicado sobre la alternativa S.1, ya que es la alternativa sobre la que se plantea dicha reordenación viaria y, por lo tanto, la más sugerente a la hora de poner en práctica todos los conceptos propuestos para el estudio de los *condicionantes ambientales*.

Tabla 6.2. Características de los conceptos propuestos para estudiar los *condicionantes ambientales* del corredor

Conceptos	¿Qué estudia?	¿Cómo se define?	¿Cuál es la dimensión de sus resultados?	¿De qué informa?
Valor de impacto	A cada <i>factor</i>	El valor del factor que haría que el rendimiento ambiental alcance el UCI (umbral crítico de impacto)	-Por factor y total del corredor -Por factor y <i>entorno de movilidad</i>	Informa sobre qué <i>factores</i> tienen una incidencia más negativa en el rendimiento ambiental de la movilidad urbana
Valor de óptimo	A cada <i>factor</i>	El valor del factor que haría que el rendimiento ambiental alcance el UCC (umbral crítico de calidad)	-Por factor y total del corredor -Por factor y <i>entorno de movilidad</i>	Informa sobre qué <i>factores</i> tienen una incidencia más positiva en el rendimiento ambiental de la movilidad urbana
Parámetro de saturación ambiental	A cada <i>factor</i>	Identifica qué <i>factores</i> pueden ser alterados a favor de incrementar o disminuir el rendimiento ambiental de aquellos que no deben serlo	-Por factor y <i>entorno de movilidad</i>	Informa sobre: -qué factores limitan en sentido negativo el rendimiento del corredor al no recomendar su alteración -que factores determinan en sentido positivo el rendimiento ambiental al no recomendar su alteración
Rango de variación ambiental	A cada factor	El margen de alteración existente para cada <i>factor</i> en un <i>entorno de movilidad</i> determinado, bien a favor de incrementar el rendimiento ambiental o de disminuirlo	-Por factor y <i>entorno de movilidad</i>	El orden de magnitud en que puede ser alterado un <i>factor</i> respecto de su valor en la alternativa evaluada, bien en sentido positivo para el rendimiento ambiental o en sentido negativo
Capacidad de absorción	Todos los factores en conjunto	Medida global relativa a la capacidad del corredor para asumir alteraciones en sus diferentes <i>factores</i> , orientadas a reducir su rendimiento ambiental	-Por <i>entorno de movilidad</i>	Resultados comparativos de diagnóstico ambiental entre los diferentes <i>entornos de movilidad</i> .
Capacidad de mejora	Todos los factores en conjunto	Medida global relativa a la capacidad del corredor para asumir alteraciones en sus diferentes <i>factores</i> , orientadas a mejorar su rendimiento ambiental	-Por <i>entorno de movilidad</i>	

6.3 Valores de impacto y de óptimo para cada factor del corredor

El **valor de impacto** hace referencia al valor del *factor* que haría que el rendimiento ambiental del corredor alcance el UCI, mientras que el **valor de óptimo** hace referencia al valor del *factor* que haría que el rendimiento ambiental del corredor alcance el UCC.

Tal y como se ha expuesto en el apartado metodológico, la estimación de los *valores de impacto y de óptimo*, se realizará a través de un análisis de sensibilidad con los siguientes pasos:

- a) Tomar como referencia de cada *factor* seleccionado, su valor en la alternativa S.1. para los 25 tramos que componen el corredor (ver tabla 6.3).

Tabla 6.3. Valores de cada *factor* en la alternativa S.1

TRAMOS	FACTORES									
	Distribución modal viaria				Flujo modal			Ocupación modal viaria		
	Supf. Verde (m ² /km)	Supf. Coche (m ² /km)	Supf. Bus (m ² /km)	Supf. ML (m ² /km)	Coche (veh/min)	Bus (veh/min)	ML (veh/min)	Coche (Viaj)	Bus (Viaj)	ML (viaj)
1	15392,85	14160,84	0,00	8049,03	0,45	0,00	0,25	815	0	2550
2	9946,41	12477,59	0,00	8071,99	0,72	0,00	0,25	1303	0	6450
3	8128,67	12301,94	0,00	7064,98	0,98	0,00	0,25	1759	0	6633
4	9363,99	7686,65	0,00	7129,99	0,92	0,00	0,25	1656	0	8848
5	26035,76	7509,20	0,00	24035,30	0,73	0,00	0,25	1318	0	10119
6	38136,27	17133,29	0,00	8492,95	2,83	0,24	0,25	5094	1286	11160
7	30747,28	16307,20	0,00	7200,00	4,72	0,58	0,25	8493	19287	13926
8	30189,45	15631,10	0,00	7165,52	2,72	0,07	0,25	4896	0	17489
9	36363,92	20814,84	0,00	7143,04	7,36	0,07	0,25	13256	0	18166
10	23506,69	21830,03	0,00	7151,47	7,46	0,84	0,25	13428	36702	20169
11	22716,57	11955,39	3649,62	7391,35	4,66	1,54	0,25	8391	67143	22576
12	31841,74	8489,32	2433,42	10040,82	3,32	1,35	0,25	5981	52702	24870
13	52223,64	0,00	0,00	14297,45	0,00	0,00	0,25	0	0	24374
14	18194,01	12084,94	0,00	6418,61	6,81	0,23	0,25	12259	13108	24296
15	17791,06	15083,76	0,00	0,00	8,58	0,00	0,25	15438	0	25735
16	13450,53	13796,61	0,00	0,00	6,40	0,00	0,25	11526	0	23756
17	12599,27	12265,27	0,00	0,00	5,75	0,81	0,25	10343	21997	20559
18	12992,47	12907,18	0,00	7418,20	4,98	0,24	0,25	8960	8704	14637
19	92751,89	23313,13	0,00	8454,96	4,61	0,44	0,25	8291	16358	12191
20	31502,40	26019,35	0,00	9137,40	1,86	0,35	0,25	3350	13715	11236
21	18878,51	17778,14	0,00	8477,16	1,80	0,38	0,25	3236	18992	9265
22	14701,11	17555,74	0,00	8344,18	2,35	0,30	0,25	4236	12233	7023
23	7910,19	7058,29	0,00	8529,79	1,77	0,17	0,25	3182	0	6652
24	10327,03	6728,07	0,00	7092,21	1,51	0,22	0,25	2721	5547	3892
25	20415,97	4165,16	0,00	4156,30	1,49	0,22	0,25	2690	5547	3360

- b) El valor de cada *factor* es alterado en intervalos de $\pm 5\%$ hasta doblar en sentido positivo su valor (+100%) y reducirlo a nulo en sentido negativo (-100%). Cada intervalo de $\pm 5\%$ supone un nuevo escenario para la alternativa S.1, sobre el que se aplican los indicadores utilizados en capítulos anteriores. Esto permite estudiar como varía el rendimiento ambiental cuando alteramos un *factor* específico (ver figura 6.3).

- c) Obtención de resultados de rendimiento ambiental parcial (por indicador) o global (agregado) para el total del corredor, a partir del valor promedio obtenido en los 25 tramos que lo componen y para cada intervalo de $\pm 5\%$ en que está siendo modificado un *factor*. Sobre los resultados obtenidos se aplican los *umbrales ambientales* definidos en el capítulo 4, obteniendo un *valor de impacto y de óptimo por factor* e indicador de rendimiento ambiental.
- d) Tomando como referencia los indicadores de rendimiento ambiental considerados más determinantes en cada *entorno de movilidad* (ver tabla 5.20, capítulo 5), se estimará un *valor de impacto y de óptimo por entorno*.

A continuación, se detallará para cada tipo de factores (distribución modal viaria, flujo modal y ocupación modal), los resultados obtenidos de aplicar el método expuesto a la alternativa S.1 del caso de estudio.

6.3.1. Factores de distribución modal viaria

Los *factores* de distribución modal viaria hacen referencia a la superficie ocupada por Km de corredor para cada una de las opciones modales consideradas en la alternativa S.1 (ver tabla 6.4). Tal y como se recoge en la metodología, los resultados que se muestran en este apartado hacen referencia al total del corredor, a partir del valor promedio obtenido para los 25 tramos que lo componen.

Tabla 6.4. Factores relativos a la distribución modal viaria e indicadores de evaluación asociados

<i>Tipo</i>	<i>Factores</i>	<i>Indicadores rendimiento ambiental</i>
Distribución modal viaria	Supf Verde y peatonal (m^2/km)	
	Supf Coche (m^2/km)	-Eficiencia superficial movilidad urbana -Concentración de PM_{10}
	Supf Bus (m^2/km)	-Coeficiente viario de reparto -Efecto barrera
	Supf Metro ligero (m^2/km)	

Fuente: elaboración propia

En el caso de la **superficie verde y peatonal** (ver figura 6.4), el rendimiento ambiental del corredor es más sensible, a los incrementos a los que es sometido el *factor*, que a las disminuciones. En consecuencia, el *valor de óptimo* para el rendimiento ambiental global se alcanza cuando la superficie verde y peatonal es incrementada en un 25% respecto de su valor inicial en la alternativa S.1., mientras que el *valor de impacto* para este *factor* se alcanza cuando es reducido en un 35%.

En cuanto a los niveles de rendimiento ambiental parcial derivados de cada indicador, los resultados son diferentes, dependiendo del nivel de rendimiento del indicador en la alternativa S.1. El efecto barrera, que presenta un *rendimiento negativo* en la alternativa S.1, solo es sensible a aumentos de la superficie verde y peatonal, alcanzando su *valor de impacto* cuando

ésta es incrementada en un 10% y su *valor de óptimo* cuando el incremento del factor alcanza el 60%.

Situación similar ocurre con la eficiencia superficial de la movilidad urbana, donde la superficie verde y peatonal alcanza su *valor de impacto* cuando se incrementa en un 10% y su *valor de óptimo* cuando se incrementa en un 60%.

A diferencia de los anteriores, el coeficiente viario de reparto como último indicador que se ve afectado por alteraciones en la superficie verde y peatonal, alcanza su *valor de óptimo* cuando este *factor* es incrementado en un 10%, mientras que su *valor de impacto* se alcanza cuando el *factor* se reduce en un 35%.

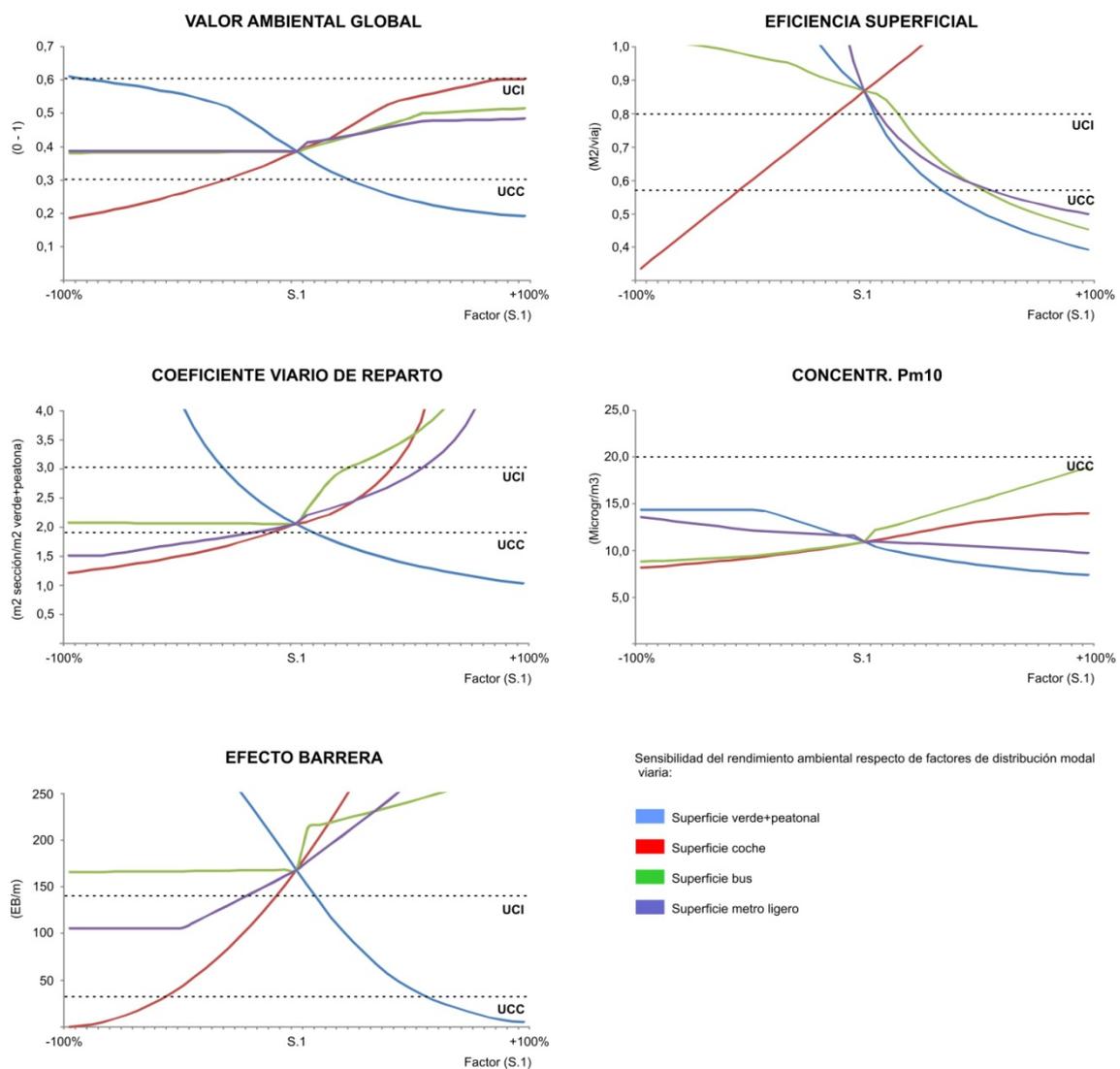


Figura 6.4. Sensibilidad del rendimiento ambiental del corredor a *factores* de distribución modal viaria. Fuente: elaboración propia

En relación con la **superficie del coche** (ver figura 6.4), los resultados indican que el rendimiento ambiental del corredor es más sensible a las disminuciones del *factor* que a sus aumentos. Esto quiere decir que se consiguen alternaciones en los niveles de rendimiento ambiental del corredor de una forma más rápida reduciendo el *factor* que incrementándolo.

Además, para todos los indicadores utilizados, la disminución de la superficie destinada al coche induce un aumento del rendimiento ambiental.

Para el rendimiento ambiental global, la superficie del coche alcanza su *valor de óptimo* cuando es reducida en un 35% respecto de su valor en la alternativa S.1, mientras que alcanza su *valor de impacto* cuando es incrementada en un 95%.

En cuanto a la eficiencia superficial de la movilidad urbana, la superficie del coche alcanza su *valor de óptimo* cuando el *factor* es reducido en un 15% y su *valor de impacto* cuando la reducción llega a ser del 55%, consecuencia de que presenta un *rendimiento negativo* en la alternativa S.1. De igual forma, en el caso del efecto barrera, que cuenta también con un *rendimiento negativo* en la alternativa S.1., la superficie del coche alcanza su *valor de impacto* cuando se reduce en un 10%, a la vez que alcanza su *valor de óptimo* cuando las reducciones son del 60%.

A diferencias de los anteriores, para el coeficiente viario de reparto, con un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.1, la superficie del coche alcanza su *valor de óptimo* cuando es reducida en un 10% y su *valor de impacto* cuando es incrementada en un 45%.

El tercer *factor* de distribución modal viaria utilizado es la **superficie del bus** (ver figura 6.4). Dado que no existe apenas plataforma reservada para el autobús público en todo el corredor, con excepción de los tramos 11 y 12, su incidencia en el rendimiento ambiental del corredor es menor que en el caso del resto de *factores*. Los resultados obtenidos muestran que el rendimiento ambiental es sensible a los aumentos de este *factor* y muy poco sensible a sus disminuciones.

En el análisis de sensibilidad realizado, la superficie del bus solamente alcanza *valores de impacto y de óptimo* para la eficiencia superficial de la movilidad urbana y para el coeficiente viario de reparto. Se podría decir que su incidencia en el rendimiento ambiental global es prácticamente nula, ya que parte de una presencia muy baja en la alternativa S.1.

Para la eficiencia superficial, que tiene un *rendimiento negativo* en la alternativa S.1, la superficie del Bus alcanza su *valor de impacto* cuando se incrementa en un 15% y su *valor de óptimo* cuando el incremento llega a ser del 55%. Respecto del coeficiente viario de reparto, la superficie del Bus alcanza su *valor de impacto* cuando se incrementa en un 25%, mientras que su reducción en el corredor en ningún caso supondría alteraciones en los niveles de rendimiento ambiental de este indicador, por lo que no presenta *valor de óptimo* en este caso.

El último *factor* analizado en este apartado es la **superficie del metro ligero** (ver figura 6.4). Los resultados muestran que el rendimiento ambiental es más sensible a los aumentos de este *factor* que a sus disminuciones.

De manera similar a lo que ocurría en el caso de la superficie destinada al autobús público, la incidencia que puede tener la superficie del metro ligero sobre el rendimiento ambiental global, no es lo suficientemente importante como para alterar sus niveles de rendimiento. En cuanto al resto de indicadores, para la eficiencia superficial de la movilidad urbana, la superficie del metro ligero alcanza su *valor de impacto* cuando se aumenta en un 10% y su *valor de óptimo* cuando el aumento llega a ser del 55%. Para el coeficiente viario de reparto, la

superficie del metro ligero alcanza su *valor de óptimo* cuando se disminuye en un 20% y su *valor de impacto* cuando se incrementa en un 60% sobre su valor en la alternativa S.1. Finalmente, en el caso del efecto barrera, que presenta un *rendimiento negativo* en la alternativa S.1., la superficie del metro ligero alcanza su *valor de impacto* cuando se reduce en un 25%, mientras que en ningún caso, reducciones mayores llevarían a alterar el nivel de rendimiento del efecto barrera hasta su UCC, por lo que no presenta *valor de óptimo* en este caso.

A modo de síntesis, destacar que de los 4 *factores* de distribución modal viaria analizados, la superficie verde y peatonal conjuntamente con la superficie del coche tienen una incidencia mayor sobre el rendimiento ambiental del corredor que el resto de *factores* estudiados (ver tabla 6.5). Esto es consecuencia de que influyen en la alteración de niveles de rendimiento para un mayor número de indicadores de lo que lo hacen los *factores* relativos a modos de transporte público. En el caso de la superficie verde y peatonal, el rendimiento ambiental del corredor es más sensible a sus incrementos que a sus disminuciones, mientras que en el caso de la superficie del coche se produce la situación contraria (ver figura 6.4).

Los *factores* relativos a superficie de modos de transporte público, tienen incidencia en los indicadores de coeficiente viario de reparto y eficiencia superficial de la movilidad urbana, mientras que su incidencia sobre el resto de indicadores está mucho más limitada (ver figura 6.4 y tabla 6.5).

Finalmente, destacar el caso particular de la concentración de PM_{10} , donde a pesar de que todos los factores analizados inciden sobre sus resultados, dicha incidencia no es lo suficientemente significativa como para propiciar un cambio en el nivel de rendimiento ambiental de tal indicador, de ahí que no se registren *ni valores de impacto ni de óptimo* a tal efecto.

Tabla 6.5. Valores de impacto y de óptimo para cada factor de distribución modal viaria

Factores Supf. Modal	EE		ES		PM ₁₀		ER		CVR		EB		GLOBAL	
	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP
Supf. Verde (m ² /Km)	-	-	29273,92 (+35%)	22768,61 (+5%)	-	-	-	-	23852,83 (+10%)	15179,07 (-35%)	34695,02 (+60%)	23852,83 (+10%)	27105,48 (+25%)	14087,79 (-35%)
Supf. Coche (m ² /Km)	-	-	6064,6 (-55)	11455,48 (-15)	-	-	-	-	12129,33 (-10%)	18867,37 (+45%)	5390,81 (-60%)	12129,33 (-10%)	8760,15 (-35%)	26280,2 (95%)
Supf. Bus (m ² /Km)	-	-	6111,54 (+55%)	4481,80 (+15%)	-	-	-	-	-	4889,24 (+25%)	-	-	-	-
Supf. Metro Ligero (m ² /Km)	-	-	11310,0 (+55%)	8098,05 (+10%)	-	-	-	-	5494,09 (-20%)	11666,9 (+60%)	-	5150,71 (-25%)	-	-

EE: eficiencia energética; **ES:** eficiencia superficial; **PM₁₀:** concentración de PM₁₀; **ER:** emisión de ruido; **CVR:** coeficiente viario de reparto; **EB:** efecto barrera

Nota: el valor entre paréntesis expresa la variación porcentual del *factor* respecto de la alternativa S.1

Fuente: elaboración propia

6.3.2. Factores de flujo modal

Los *factores* de flujo modal determinan la intensidad de la movilidad en las diferentes alternativas del corredor. Tal y como muestra la tabla 6.6, hacen referencia al número de vehículos por minuto para cada una de las opciones modales motorizadas que han sido consideradas en la alternativa S.1 del caso de estudio.

Tabla 6.6. Factores relativos al flujo modal e indicadores de evaluación asociados

<i>Tipo</i>	<i>Factores</i>	<i>Indicadores rendimiento ambiental</i>
Flujo modal	Coche (veh/min)	-Eficiencia energética movilidad urbana
	Bus (veh/min)	-Concentración de PM ₁₀
	Metro ligero (veh/min)	-Emisión de ruido
		-Efecto barrera

Fuente: elaboración propia

Comenzando por el **flujo de coches** (ver figura 6.5), los resultados obtenidos dejan ver que el rendimiento ambiental del corredor es más sensible a las disminuciones del *factor* que sus incrementos. Esto es importante, ya que para todos los indicadores utilizados, el aumento del flujo de coches supone una disminución del rendimiento ambiental del corredor. En consecuencia con lo anterior, en el caso del rendimiento ambiental global, el flujo de coches alcanza su *valor de óptimo* cuando es reducido en un 25% respecto a su valor en la alternativa S.1, mientras que alcanza su *valor de impacto* cuando se incrementa en un 80%.

Para la eficiencia energética de la movilidad urbana, que presenta un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.1, el flujo de coches alcanza su *valor de óptimo* cuando se reduce en un 5%. Por el contrario, el incremento de este *factor*, a pesar de que influye en la eficiencia energética, no lo hace con la intensidad suficiente como para que el nivel de rendimiento llegue al UCI, por lo que no presenta *valor de impacto*. El caso de la concentración de PM₁₀ es similar, solo que al tener un *rendimiento óptimo* en la alternativa S.1, el *valor de óptimo* para el flujo de coches se alcanza cuando el *factor* alcanza el +100%.

Al contrario que en los casos anteriores, el flujo de coches alcanza su *valor de impacto* para la emisión de ruido cuando se reduce en un 10%, ya que este indicador tiene un *rendimiento negativo* en la alternativa S.1. En cambio, el análisis de sensibilidad muestra, que reducciones mayores del flujo de coches tienen incidencia en el nivel de ruido, pero no la suficiente como para que alcance el UCC, por lo que este *factor* no presenta *valor de óptimo* para este indicador.

Finalmente, para el efecto barrera, que tiene un *rendimiento negativo* en la alternativa S.1, el flujo de coches alcanza su *valor de impacto* cuando es reducido en un 15% y su *valor de óptimo* cuando la reducción llega a ser del 90%.

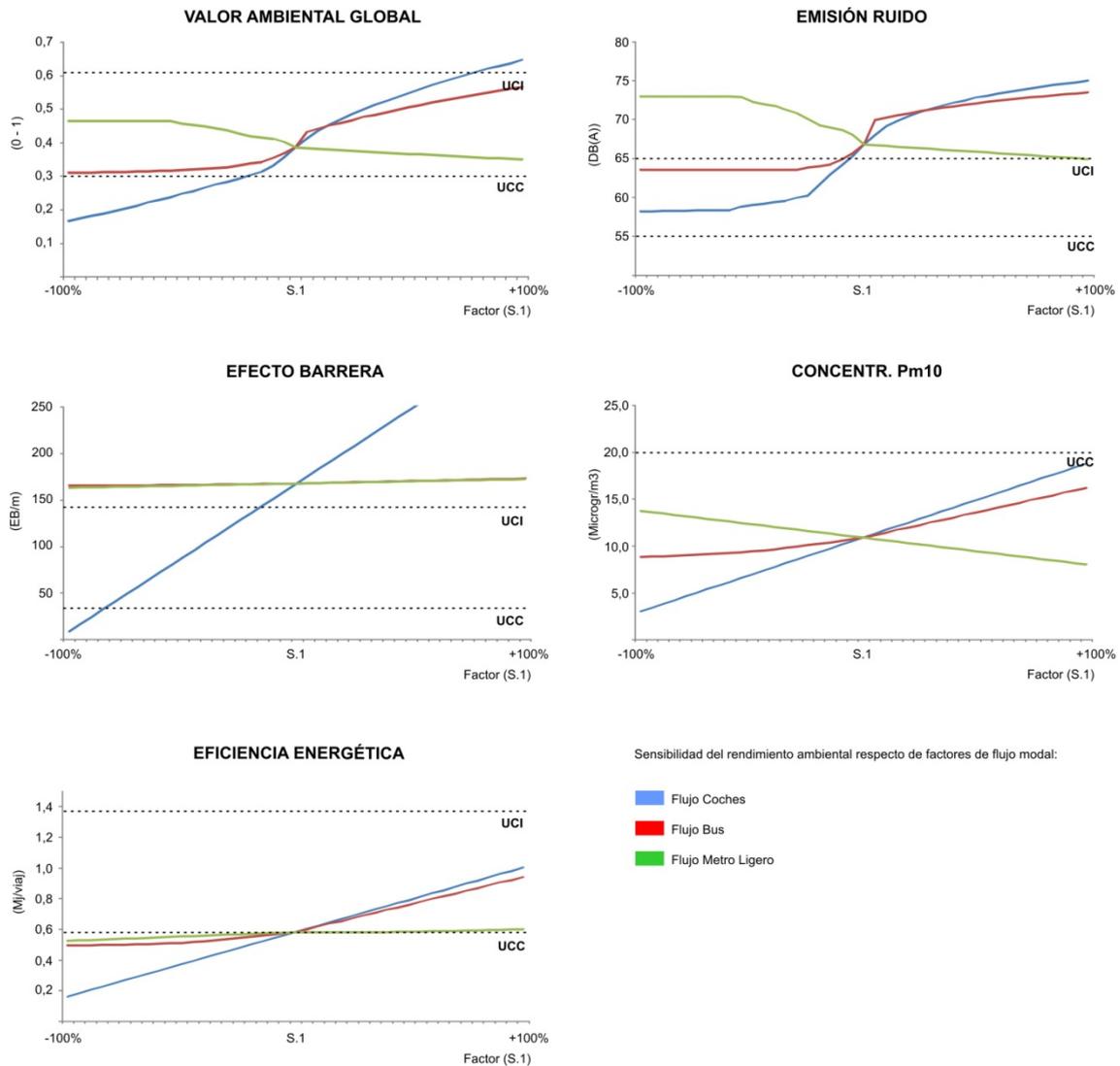


Figura 6.5. Sensibilidad del rendimiento ambiental del corredor a *factores de flujo modal*.

Fuente: elaboración propia

El segundo *factor* analizado es el **flujo de buses** (ver figura 6.5). Los resultados obtenidos dejan ver que su incidencia sobre el rendimiento ambiental del corredor es similar a la que produce el flujo de coches, solo que al existir menos intensidad de paso de autobuses que de coches, este *factor* no induce los cambios de nivel de rendimiento ambiental que tiene el flujo de coches. De esta forma, este *factor* solo presenta *valores de impacto* y *de óptimo* para los indicadores eficiencia energética y emisión de ruido.

Para la eficiencia energética, el flujo de buses alcanza su *valor de óptimo* cuando se reduce en un 10% respecto de su valor en la alternativa S.1, mientras que los aumentos de este factor en el análisis de sensibilidad, no son lo suficientemente intensos como para que el rendimiento ambiental del corredor alcance su UCI, por lo que el *factor* no presenta *valor de impacto* para este indicador.

Respecto a la emisión de ruido, el flujo de buses alcanza su *valor de impacto* cuando es reducido en un 10% respecto de su valor en la alternativa S.1, a la vez que los resultados del análisis de sensibilidad muestran que una disminución mayor del flujo de buses no es lo suficientemente intensa como para que el rendimiento ambiental del corredor alcance su UCC, por lo que este *factor* no presenta *valor de óptimo* para este indicador.

El último *factor* analizado en este apartado es el **flujo de metro ligero** (ver figura 6.5). A diferencia de los dos *factores* analizados, el aumento del *flujo de metro ligero* supone un incremento del rendimiento ambiental en la mayor parte de los indicadores evaluados, con alguna excepción como la del efecto barrera o la eficiencia energética. Por otro lado, al igual que ocurre con el flujo de buses, su menor intensidad de paso respecto de otros modos de transporte como el coche, son el origen de que únicamente altere los niveles de rendimiento ambiental en el indicador eficiencia energética.

Para el caso de la eficiencia energética, el flujo de metro ligero alcanza su *valor de óptimo* cuando se reduce en un 25% respecto de su valor en la alternativa S.1. En cambio, el aumento registrado en el análisis de sensibilidad, no es lo suficientemente intenso como para que el rendimiento ambiental alcance el UCI, por lo que este *factor* no presenta *valor de impacto* para este indicador.

A modo de síntesis, conviene destacar que entre los *factores* analizados en este apartado, el flujo de coches es aquel que presenta una mayor incidencia tanto a nivel del rendimiento ambiental global del corredor, como de forma particular en cada uno de los indicadores previamente estudiados. En este sentido, destaca del análisis de sensibilidad realizado, que el rendimiento ambiental del corredor es más sensible a las disminuciones de los flujos de coche que a sus incrementos.

La incidencia del flujo de buses sobre el rendimiento ambiental del corredor es similar al flujo de coches, aunque por su menor intensidad, son menos los indicadores que se ven afectados por alteraciones en sus niveles de rendimiento ambiental, específicamente los casos de la eficiencia energética y la emisión de ruido.

El flujo de metro ligero es de los tres *factores* el que menos incidencia presenta sobre el rendimiento ambiental del corredor, alterando únicamente los niveles de rendimiento ambiental del indicador eficiencia energética. A la vista de estos resultados, se podría decir que la mejora ambiental en el corredor, se produce con la implantación del sistema de metro ligero, es decir entre la alternativa S.0 y S.1, tal y como se puede ver en los capítulos 4, 5 y 6, siendo un aspecto más secundario la frecuencia de circulación de este modo de transporte, en los términos en los que ha sido alterada en este análisis de sensibilidad.

Tabla 6.7. Valores de impacto y de óptimo para cada factor de flujo modal

Factores Flujo Modal	EE		ES		PM ₁₀		ER		CVR		EB		GLOBAL	
	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP
Flujo coches (veh/min)	3,22 (-5%)	-	-	-	6,78 (+100%)	-	-	3,05 (-10%)	-	-	0,34 (-90%)	2,88 (-15%)	2,54 (-25%)	6,10 (+80%)
Flujo bus (veh/min)	0,27 (-10%)	-	-	-	-	-	-	0,29 (-10%)	-	-	-	-	-	-
Flujo ML (m ² /Km)	0,19 (-25%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

EE: eficiencia energética; **ES:** eficiencia superficial; **PM₁₀:** concentración de PM₁₀; **ER:** emisión de ruido; **CVR:** coeficiente viario de reparto; **EB:** efecto barrera

Nota: el valor entre paréntesis expresa la variación porcentual del *factor* respecto de la alternativa S.1

Fuente: elaboración propia

6.3.3. Factores de ocupación modal de viajeros

Los factores relativos a la ocupación modal hacen referencia a la distribución modal de viajeros en las diferentes alternativas del corredor. Al igual que en el caso de los factores de flujo modal, se han considerado tres opciones modales: el vehículo privado, el autobús público urbano y el metro ligero.

Tabla 6.8. Factores relativos a la ocupación modal de viajeros e indicadores de evaluación asociados

Tipo	Factores	Indicadores rendimiento ambiental
	Ocupación coche (viaj)	
Ocupación modal viajeros	Ocupación bus (viaj)	-Eficiencia energética movilidad urbana -Eficiencia superficial movilidad urbana
	Ocupación Metro ligero (viaj)	

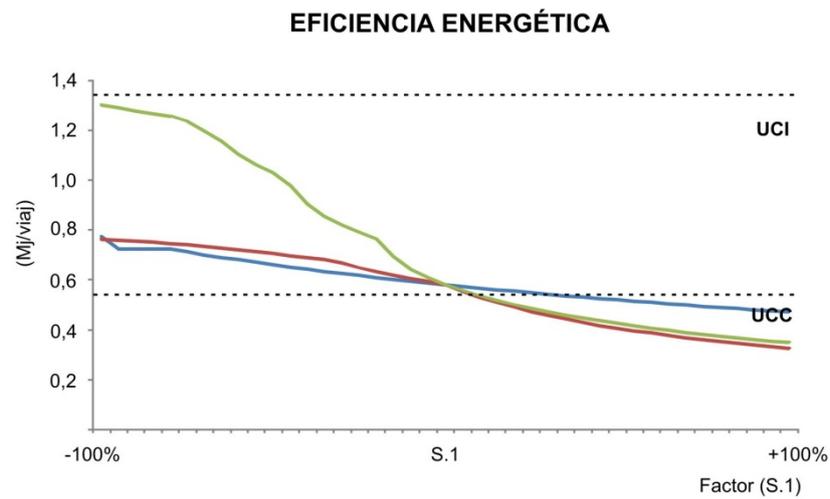
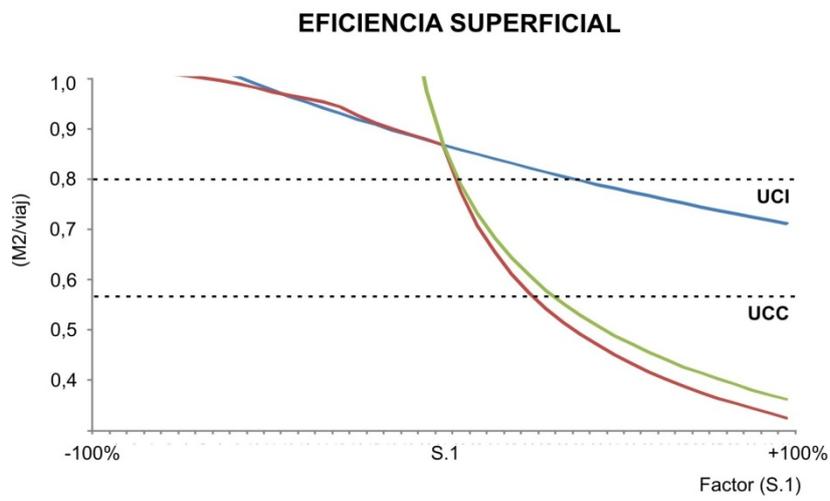
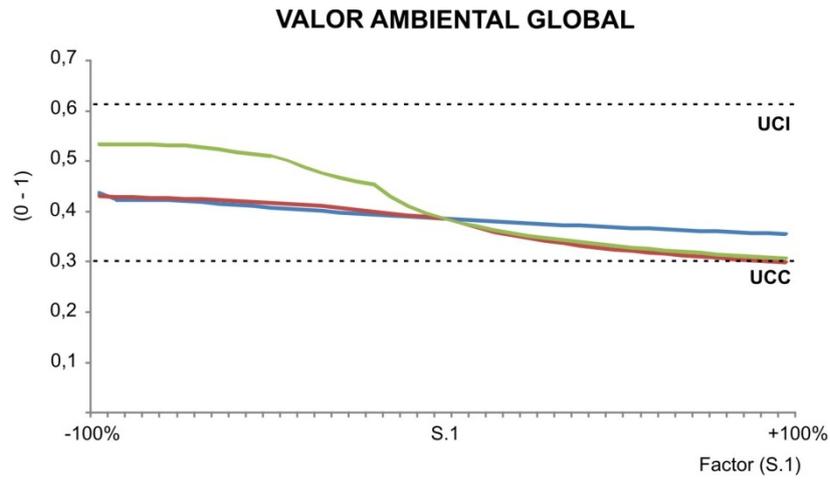
Fuente: elaboración propia

A diferencia de los otros dos grupos de *factores* analizados, que tenían una amplia incidencia sobre la mayoría de los indicadores del sistema de evaluación del rendimiento ambiental, la ocupación modal de viajeros incide, además de sobre el rendimiento ambiental global del corredor, sobre la eficiencia energética y la eficiencia superficial de la movilidad urbana.

Comenzando por la **ocupación de viajeros en coche**, cabe señalar que es el *factor* de los tres con menor incidencia sobre el rendimiento ambiental del corredor, consecuencia de su limitada capacidad para transportar viajeros en comparación con los modos de transporte públicos. Aunque incide en el rendimiento ambiental global del corredor, su intensidad no es suficiente como para alterar sus niveles de rendimiento, por lo que no presenta ni *valor de impacto* ni *de óptimo* en este sentido.

Para la eficiencia energética de la movilidad urbana, con un *rendimiento aceptable* en la alternativa S.1, la ocupación de viajeros en coche alcanza su valor de óptimo cuando se incrementa en un 10%, mientras que la disminución de viajeros en coche en el análisis de sensibilidad no ha mostrado la suficiente intensidad como para que el rendimiento ambiental de este indicador alcance su UCI, de modo que no existe un *valor de impacto* para este *factor* en relación con la eficiencia energética.

En el caso de la eficiencia superficial de la movilidad urbana, con un *rendimiento negativo* en la alternativa S.1, la ocupación de viajeros en coche alcanza su *valor de impacto* cuando se incrementa en un 55%, mientras que un incremento mayor no es suficiente para que el rendimiento ambiental alcance el UCC, por lo que no existe un *valor de óptimo* para este *factor* respecto de la eficiencia superficial.



Sensibilidad del rendimiento ambiental respecto de factores de flujo modal:

■ Flujo Coches
 ■ Flujo Bus
 ■ Flujo Metro Ligero

Figura 6.6. Sensibilidad del rendimiento ambiental del corredor a factores de ocupación modal de viajeros. Fuente: elaboración propia

El segundo *factor* estudiado en este apartado es la **ocupación de viajeros en autobús** (ver figura 6.6). Su curva de incidencia sobre el rendimiento ambiental es similar a la de la ocupación de viajeros en coche cuando se disminuye su valor respecto de la alternativa S.1, a la vez que es similar a la ocupación de viajeros en el metro ligero cuando su valor es aumentado. Respecto del rendimiento ambiental global, del mismo modo que la ocupación de viajeros en coche, su incidencia no tiene la intensidad suficiente como para alterar sus niveles de rendimiento.

Para la eficiencia energética de la movilidad urbana, la ocupación de viajeros en autobús alcanza su *valor de óptimo* cuando se incrementa en un 5%, mientras que la disminución a la que es sometida el *factor* en el análisis de sensibilidad, no es lo suficientemente intensa como para que el rendimiento ambiental de este indicador alcance el UCI, por lo que este *factor* no tiene *valor de impacto* respecto de la eficiencia energética.

En lo que tiene que ver con la eficiencia superficial de la movilidad urbana, la ocupación de viajeros en autobús alcanza su *valor de impacto* cuando es incrementada en un 5% y su *valor de óptimo* cuando el incremento llega a ser de un 25%.

Finalmente, el último *factor* estudiado es la **ocupación de viajeros en metro ligero** (ver figura 6.6), que al igual que en los otros dos *factores*, el rendimiento ambiental del corredor es más sensible a su aumento que a su disminución. Los resultados obtenidos en el análisis de sensibilidad reflejan que la alteración a la que ha sido sometido el factor no es suficiente como para modificar los niveles de rendimiento ambiental global, de ahí que solo presente *valores de impacto y de óptimo* para la eficiencia energética y la eficiencia superficial de la movilidad urbana.

Para la eficiencia energética, la ocupación de viajeros en metro ligero alcanza su *valor de óptimo* cuando se incrementa en un 55%, mientras que su descenso no ha propiciado que el rendimiento ambiental alcance el UCI, por lo que no existe *valor de impacto* de este *factor* respecto de la eficiencia energética.

En el caso de la eficiencia superficial de la movilidad urbana, la ocupación de viajeros en metro ligero alcanza su *valor de impacto* cuando es incrementada en un 5% y su *valor de óptimo* cuando el incremento llega a ser de un 30%.

A modo de síntesis, es importante destacar que de los tres factores analizados, aquellos relacionados con la ocupación de viajeros en modos de transporte público son los que tienen una mayor incidencia sobre el rendimiento ambiental del corredor, especialmente para la eficiencia superficial y eficiencia energética de la movilidad urbana. A modo general, de todos los *factores* analizados a lo largo del apartado 7.3, los *factores* relativos a la ocupación modal de viajeros son los que tienen una menor incidencia sobre el rendimiento ambiental del corredor, tanto en el número de indicadores sobre los que se incide, como por la capacidad de estos *factores* para alterar sus niveles de rendimiento ambiental.

Tabla 6.9. Valores de impacto y de óptimo para cada factor de ocupación modal de viajeros

Factores Ocupación Modal	EE		ES		PM ₁₀		ER		CVR		EB		GLOBAL	
	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP	ÓPT	IMP
Ocupación Coches (viaj)	6715 (+10%)	-	-	8546 (+55%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ocupación Bus (viaj)	12595 (+5%)	-	16046 (+25%)	12595 (+5%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ocupación ML (viaj)	14697 (+5%)	-	18196 (+30%)	14697 (+5%)	-	-	-	-	-	-	-	-	29394 (+100%)	-

EE: eficiencia energética; **ES:** eficiencia superficial; **PM₁₀:** concentración de PM₁₀; **ER:** emisión de ruido;
CVR: coeficiente viario de reparto; **EB:** efecto barrera

Nota: el valor entre paréntesis expresa la variación porcentual del *factor* respecto de la alternativa S.1

Fuente: elaboración propia

6.3.4. Valores de impacto y de óptimo para cada entorno de movilidad

Previamente, los *valores de impacto y de óptimo* estimados para cada factor son indicativos del corredor en su conjunto, permitiendo obtener una valoración global de la incidencia de cada factor sobre el rendimiento ambiental.

Con el fin de obtener *valores de impacto y de óptimo por factor y entorno de movilidad*, éstos serán estimados como el valor promedio de impacto de óptimo para cada factor, de aquellos indicadores que son más relevantes en *cada entorno de movilidad* (ver capítulo 6, apartado 6.4), A modo de síntesis, la tabla 6.10 recoge los *valores de impacto y de óptimo* resultantes para cada *entorno de movilidad*.

Tabla 6.10. Valores de impacto y de óptimo de cada *factor por entorno de movilidad*

Factores	Proximidad y alcance local		Proximidad y distribución circulatoria		Circulación motorizada		Centralidad metropolitana		Estaciones Transporte público	
	Imp.	Ópt	Imp.	Ópt	Imp.	Ópt	Imp.	Ópt	Imp.	Ópt
Supf. Verde+peatonal (m2/Km)	13004,12	28536,82	15442,40	17411,48	11920,45	28175,60	12642,90	26730,70	15442,40	17411,48
Supf. coche (m2/Km)	18858,40	8924,07	17006,24	5063,59	18184,89	8306,68	18633,90	9092,45	17006,24	5063,59
Supf. Bus (m2/Km)	4886,79		4223,01	3703,60	3559,22	6108,49	4223,01	6108,49	4223,01	3703,60
Supf. ML (m2/Km)	10208,02	5491,35	9590,33	4434,88	7737,28	8226,26	9699,18	7314,62	9590,33	4434,88
Flujo Coches (veh/min)	4,83	1,07	4,83	1,61	6,78	2,03	4,52	2,03	4,83	1,61
Flujo Bus (veh/min)	0,54	-	0,54	0,29	0,80	0,29	0,80	0,29	0,54	0,29
Flujo ML (veh/min)	-	-	-	0,19	-	0,19	-	-	-	-
Ocupación Coche (viaj)	-	-	8546,87	9157,00	8546,87	4578,50	8546,87	9157,00	8546,87	9157,00
Ocupación Bus (viaj)	-	34163,27	12595,54	20934,95	12595,54	20934,95	12595,54	20934,95	12595,54	20934,95
Ocupación metro ligero (viaj)	-	32193,74	14697,14	21695,80	14697,14	21695,80	14697,14	21695,80	14697,14	21695,80

Fuente: elaboración propia

6.4. Parámetros de diagnóstico para cada “entorno de movilidad”

De acuerdo al método expuesto en el apartado metodológico 6.2, los parámetros de diagnóstico propuestos son: (i) Parámetros de saturación ambiental; (ii) Rangos de variación ambiental; (iii) Capacidad de absorción; (iv) Capacidad de mejora.

A continuación se profundizará en el desarrollo y aplicación de cada uno de estos conceptos.

6.4.1 Parámetros de saturación y rangos de variación ambiental

Tanto el *parámetro de saturación* como el rango de variación ambiental, hacen referencia a conceptos que estudian cada *factor* de forma individualizada en cada *entorno de movilidad*.

El **parámetro de saturación ambiental (PS)** permite identificar qué *factores* pueden ser modificados en un *entorno de movilidad* de aquellos que no deberían serlo.

Para cada *factor* se calculan dos *parámetros de saturación*:

- *Parámetro de saturación respecto del valor de impacto (PS_i)*, que informa sobre qué *factores* por alternativa y *entorno de movilidad* no deberían ser modificados a favor de inducir una reducción del rendimiento ambiental del corredor, ya que sus consecuencias pueden ser graves en términos de rendimiento ambiental.
- *Parámetro de saturación respecto del valor de óptimo (PS_o)*, que informa para qué *factores* por alternativa y *entorno de movilidad*, no es efectiva una alteración de su valor a favor de inducir una mejora del rendimiento ambiental, ya que difícilmente serviría para alcanzar un nivel de rendimiento ambiental más favorable.

Para facilitar la interpretación de los resultados, la estimación de los *parámetros de saturación* se proponen de tal modo que (ver figura 6.7):

- Cuando $PS \geq 1$, el resultado indica que no es recomendable alterar ese factor por algunas de las razones previamente descritas.
- Cuando $PS < 1$, el resultado indica que el *factor* tiene margen para ser modificado.

De este modo, el cálculo del *parámetro de saturación* respecto del *valor de óptimo* se expresa como (ver figura 6.7):

- $PS_o = OPT/F_s$, en aquellos *factores* que en el análisis de sensibilidad han mostrado una relación inversa respecto del rendimiento ambiental del corredor. Es decir, que el aumento del *factor* supone una disminución del rendimiento ambiental (por ejemplo: el factor flujo de coches).

$PS_o = F_s/OPT$, en aquellos *factores* que en el análisis de sensibilidad han mostrado una relación directa respecto del rendimiento ambiental del corredor. Es decir, que el aumento del *factor* supone un aumento del rendimiento ambiental (por ejemplo: el factor superficie verde y peatonal).

Donde:

F_s , equivale al valor del *factor F* en la alternativa que se está evaluando.

OPT , equivale al *valor de óptimo del factor* en cada *entorno de movilidad*

El cálculo del *parámetro de saturación respecto del valor de impacto* se expresa como (ver figura 6.7):

- $PS_I = F_s/IMP$, en aquellos *factores* que en el análisis de sensibilidad han mostrado una relación inversa respecto del rendimiento ambiental del corredor. Es decir, que el aumento del *factor* supone una disminución del rendimiento ambiental (ver ejemplo del factor flujo de coches).
- $PS_I = IMP/F_s$, en aquellos *factores* que en el análisis de sensibilidad han mostrado una relación directa respecto del rendimiento ambiental del corredor. Es decir, que el aumento del *factor* supone un aumento del rendimiento ambiental (ver ejemplo del factor superficie verde y peatonal).

Donde:

F_s , equivale al valor del *factor F* en la alternativa que se está evaluando.

IMP , equivale al *valor de impacto del factor* en cada *entorno de movilidad*

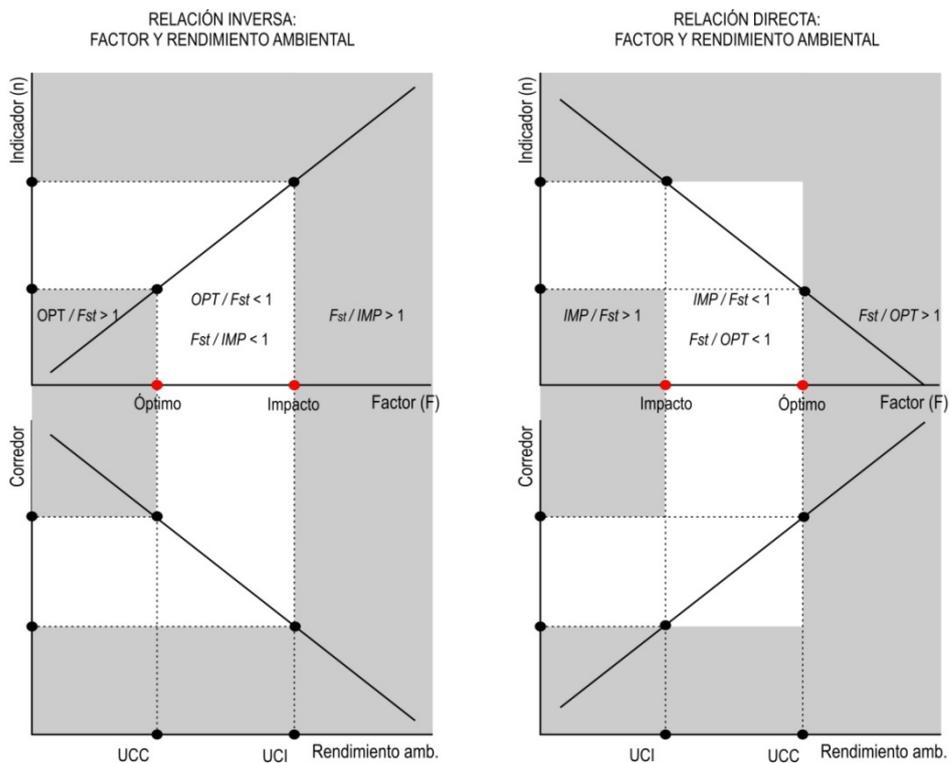


Figura 6.7. Parámetros de saturación, factores y rendimiento ambiental. Fuente: elaboración propia

Por otro lado, el **rango de variación ambiental** expresa el margen de variación existente para cada *factor* en un *entorno de movilidad* determinado, tanto a favor de incrementar el rendimiento ambiental de la alternativa en evaluación, como de disminuirlo. Por lo tanto, el *rango de variación ambiental* podrá ser calculado para todos aquellos *factores* cuyo PS < 1.

Sus resultados se expresan en porcentaje de variación respecto al valor del *factor* en la alternativa evaluada. El *rango de variación ambiental* se compone de (ver figura 6.8):

- Un *rango de reducción del rendimiento ambiental*, que expresa qué porcentaje del *factor* puede ser modificado hasta que el rendimiento ambiental alcance el UCI.
- Un *rango de incremento del rendimiento ambiental*, que expresa qué porcentaje del *factor* puede ser modificado hasta que el rendimiento ambiental alcance el UCC.

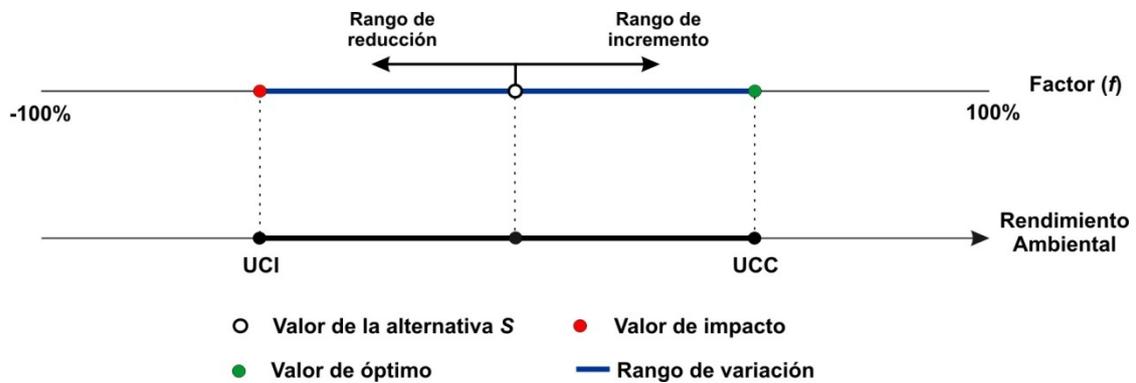


Figura 6.8. Representación esquemática del *rango de variación ambiental*. Fuente: elaboración propia

Para concluir con esta descripción metodológica, la figura 6.9 representa un diagrama de flujo de la aplicación de los diferentes conceptos descritos sobre cada *factor* del corredor.

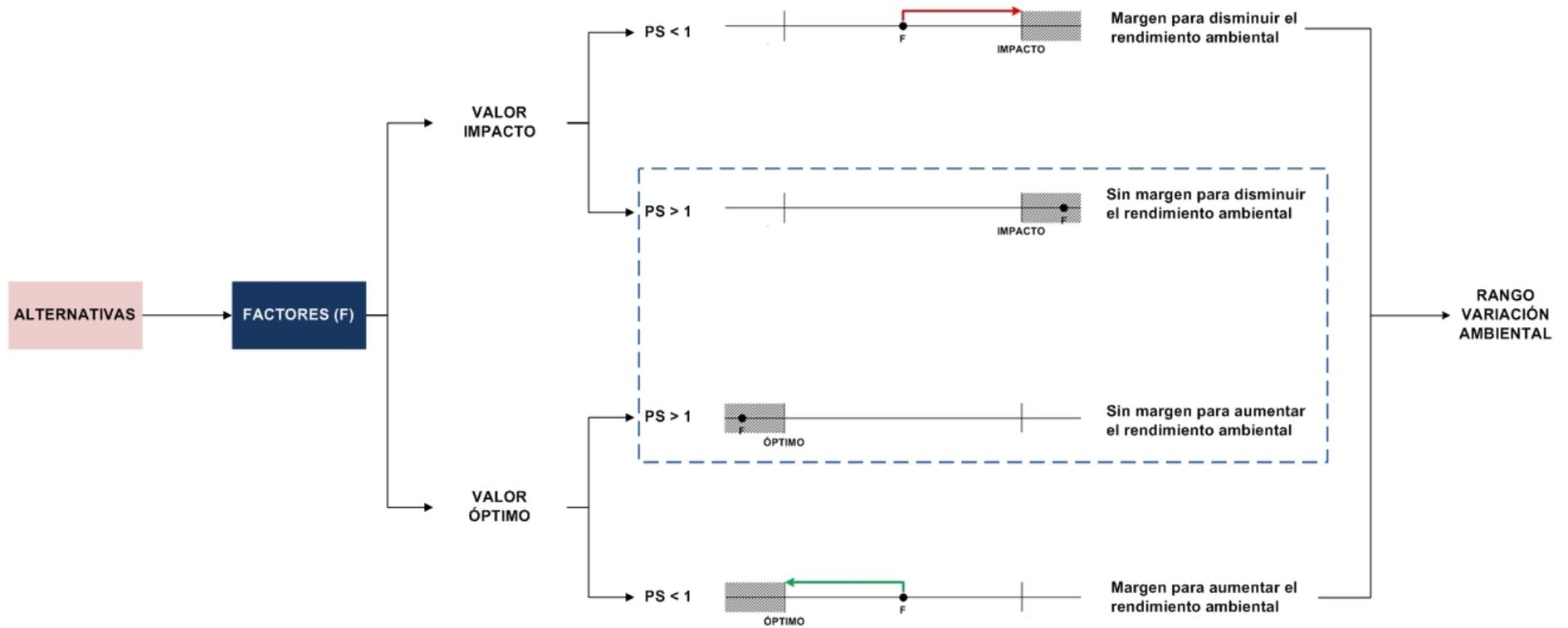


Figura 6.9. Secuencia del estudio de los condicionantes ambientales para un factor determinado. Fuente: elaboración propia

6.4.1.1 Parámetros de saturación del corredor

En primer lugar se comentan los resultados obtenidos para el **parámetro de saturación respecto del valor de impacto (PS_i)**, que informa sobre qué *factores* por alternativa y *entorno de movilidad* no deberían ser modificados a favor de inducir una reducción del rendimiento ambiental del corredor, ya que sus consecuencias pueden ser graves en términos ambientales.

El **entorno de proximidad y alcance local** destaca sobre el resto de *entornos de movilidad*, ya que ninguno de sus *factores* tiene un $PS_i > 1$, por lo que todos ellos pueden ser alterados a favor de reducir el rendimiento ambiental del corredor, situación que no ocurre en ningún otro *entorno de movilidad* (ver tabla 3.11).

Tabla 3.11. Parámetros de saturación respecto del valor de impacto (PS_i)

FACTORES	ENTORNOS DE MOVILIDAD				
	Proximidad y alcance local	Proximidad y distribución circulatoria	Circulación motorizada	Centralidad metropolitana	Estaciones Transporte público
Supf. Verde y peatonal (m2/Km)	0,92	0,95	0,53	1,24	0,49
Supf. coche (m2/Km)	0,62	0,77	0,99	0,66	0,73
Supf. Bus (m2/Km)	-	0,17	-	-	0,29
Supf. ML (m2/Km)	0,77	0,29	1,01	0,86	0,90
Flujo Coches (veh/min)	0,40	1,33	0,54	0,36	0,83
Flujo Bus (veh/min)	0,24	0,95	0,39	0,20	1,77
Flujo ML (veh/min)	-	-	-	-	-
Ocupación Coche (viaj)	-	0,77	1,37	2,17	1,22
Ocupación Bus (viaj)	-	0,34	2,00	0,34	0,45
Ocupación metro ligero (viaj)	-	0,63	1,48	2,02	0,82

*Factores no alterables en rojo

Fuente: elaboración propia

Por el contrario, el **entorno de circulación motorizada** es aquel que posee un mayor número de *factores* cuyo $PS_i > 1$, lo que le convierte en uno de los *entornos de movilidad* más limitado a la hora de realizar cualquier tipo de alteración en la alternativa S.1 que implique una reducción de su rendimiento ambiental.

Entre los *factores* con $PS_i > 1$ en este *entorno de movilidad*, destacan aquellos relativos a la ocupación modal de viajeros, cuestión que tiene sentido si se piensa que el argumento central de este *entorno de movilidad* reside en su fuerte tránsito motorizado. Para los tres *factores* de ocupación modal, su valor en la alternativa S.1 es inferior al *valor de impacto* estimado en el análisis de sensibilidad, de ahí que su *parámetro de saturación* muestre que no sería recomendable una reducción de los viajeros transportados en cada modo.

El otro factor cuyo $PS_i > 1$ en este *entorno de circulación motorizada* es la superficie destinada al metro ligero (1,01), por lo que cualquier alteración de la alternativa S.1 no debería contemplar un incremento de este *factor*.

Profundizando en los resultados obtenidos, el **entorno de centralidad metropolitana** es aquel que ocupa el segundo lugar en cuanto a *factores* con un $PS_i > 1$. Destacan sobre el resto los *factores* relacionados con la ocupación modal de viajeros, los viajeros transportados en coches (2,17) y los transportados en metro ligero (2,02). En este sentido, alteraciones en la alternativa S.1 que disminuyan los viajeros transportados tanto para el vehículo privado como para el metro ligero, supondrían un riesgo importante para el nivel de rendimiento ambiental del corredor.

Junto con los *factores* anteriores, la superficie verde y peatonal (1,24) presenta un $PS_i > 1$, de manera que cualquier alteración sobre la alternativa S.1 en este *entorno de movilidad*, no debería contemplar una disminución de dicha superficie verde y peatonal, ya que el rendimiento ambiental global podría pasar a tener un *rendimiento negativo*.

En lo que respecta al **entorno orientado a estaciones de transporte público**, son dos los factores cuyo $PS_i > 1$, específicamente, el flujo de buses (1,77) y los viajeros transportados en coche (1,22). Por otro lado, el único factor cuyo $PS_i > 1$ en el **entorno de proximidad y distribución circulatoria**, es el flujo de coches (1,33), lo que implica que alteraciones en la alternativa S.1 encaminadas a incrementar el valor de este *factor*, pueden suponer un riesgo importante para el rendimiento ambiental de este *entorno de movilidad*.

La figura 3.10 muestra los *factores* que no se recomienda modificar en la alternativa S.1, tanto a favor de reducir el rendimiento ambiental (PS_i) como de incrementarlo (PS_o).

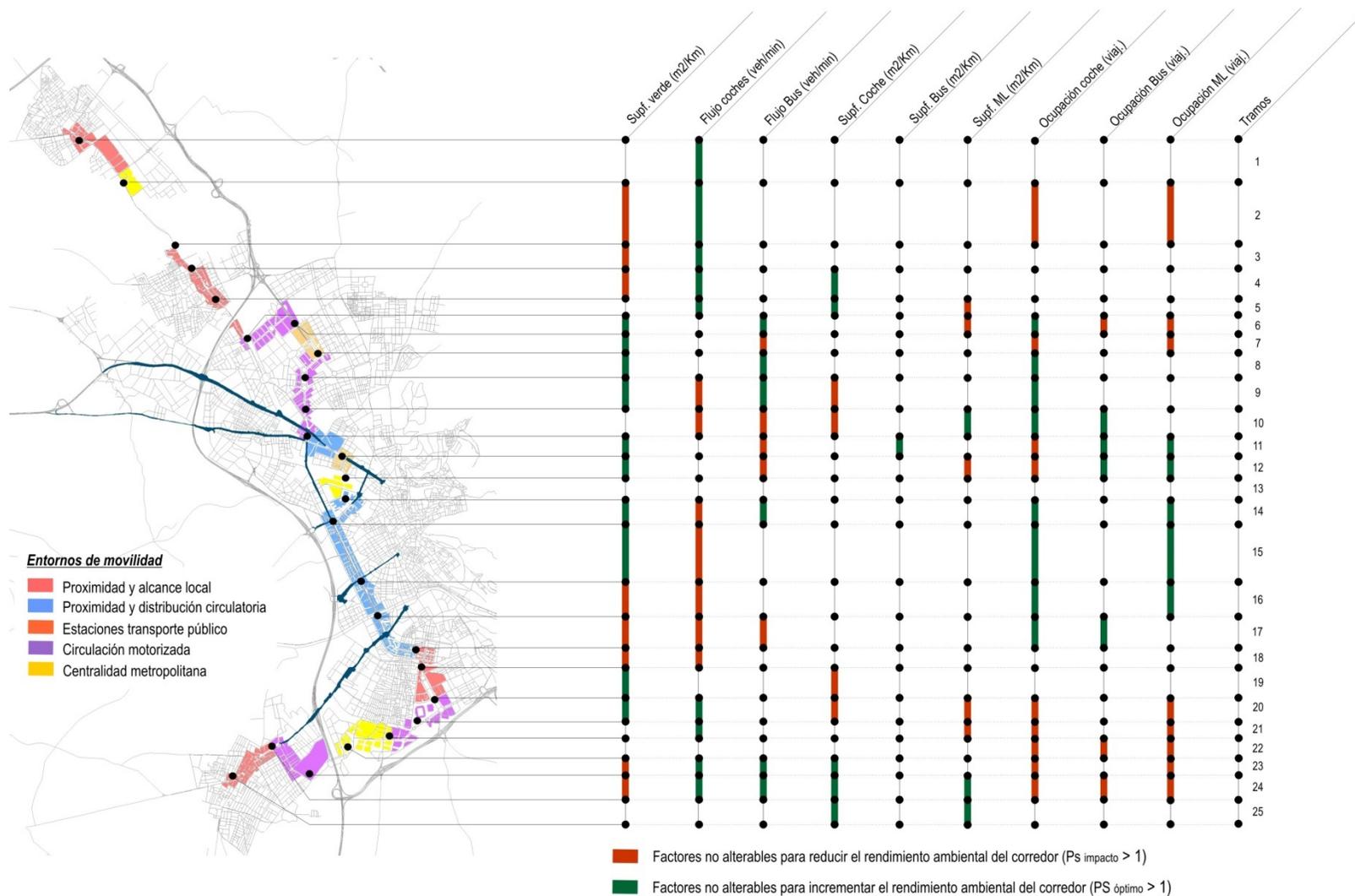


Figura 3.10. Factores no alterables en alternativa S.1 para cada tramo del corredor. Fuente: elaboración propia

A continuación se analizarán los resultados obtenidos para el **parámetro de saturación respecto del valor de óptimo (PS_o)**, que informa para qué *factores* por alternativa y *entorno de movilidad*, no es efectiva una alteración de su valor a favor de inducir una mejora del rendimiento ambiental, ya que difícilmente serviría para alcanzar un nivel de rendimiento ambiental más favorable.

En lo que respecta al **entorno de proximidad y distribución circulatoria**, los *factores* cuyo $PS_o > 1$ son los relativos a viajeros transportados en coche (1,27) y viajeros transportados por el sistema de metro ligero (1,08). Esta situación pone de manifiesto que estos *factores* tienen en la alternativa S.1 un valor superior al *valor de óptimo* estimado en el análisis de sensibilidad, de manera que incentivar un aumento de estos *factores*, a pesar de que pueda ser beneficioso para el corredor, no supondrá un efecto tan positivo sobre el rendimiento ambiental que sí se hace con otros factores con margen de cambio respecto a su *valor de óptimo*.

En cuanto al **entorno orientado a estaciones de transporte público**, los *factores* cuyo $PS_o > 1$ son la superficie verde+peatonal (1,80) y los viajeros transportados en autobús (1,72). Por esta razón, las modificaciones de la alternativa S.1 que busquen mejorar el nivel de rendimiento ambiental de este *entorno de movilidad* deberían centrarse en otros *factores* diferentes a estos.

Respecto de los tres *entornos de movilidad* restantes, cada uno de ellos posee un único *factor* cuyo $PS_o > 1$. En el caso del **entorno de proximidad y alcance local**, este *factor* es el flujo de coches (1,04). En lo que se refiere al **entorno de circulación motorizada**, este *factor* es el flujo de autobuses públicos urbanos (1,88), mientras que en el **entorno de centralidad metropolitana**, el *factor* con $PS_o > 1$ es el flujo de coches (1,61).

De esta forma, la tabla 3.12 muestra los resultados obtenidos para el *parámetro de saturación* respecto del *valor de óptimo* en cada *entorno de movilidad*.

Tabla 6.12. Parámetros de saturación respecto del valor de óptimo (PS_o)

FACTORES	ENTORNOS DE MOVILIDAD				
	Proximidad y alcance local	Proximidad y distribución circulatoria	Circulación motorizada	Centralidad metropolitana	Estaciones Transporte público
Supf. Verde+peatonal (m2/Km)	0,93	0,97	0,96	0,41	1,80
Supf. coche (m2/Km)	0,99	0,39	0,55	0,84	0,45
Supf. Bus (m2/Km)	-	0,20	-	-	0,45
Supf. ML (m2/Km)	0,74	0,65	0,93	0,88	0,53
Flujo Coches (veh/min)	1,04	0,26	0,80	1,61	0,41
Flujo Bus (veh/min)	-	0,36	1,88	0,88	0,36
Flujo ML (veh/min)	-	-	-	-	-
Ocupación Coche (viaj)	-	1,27	0,88	0,32	0,79
Ocupación Bus (viaj)	0,13	0,98	0,52	0,19	1,72
Ocupación metro ligero (viaj)	0,26	1,08	0,60	0,31	0,89

*Factores no alterables en rojo

Fuente: elaboración propia

A modo de síntesis, los resultados obtenidos para la alternativa S.1 muestran que predominan más aquellos *factores* con un $PS_o > 1$ que aquellos con un $PS_o < 1$. Esto advierte de que lejos de que el valor de los *factores* en la alternativa S.1 estén próximos a situaciones que induzcan un aumento de su rendimiento ambiental, ocurre la situación contraria, por lo que desarrollar un paquete de medidas adicionales a la implantación de la alternativa S.1, orientados a mejorar aquellos factores con un $PS_o > 1$, es fundamental de cara al rendimiento ambiental del corredor.

Entre los *factores* que no pueden ser alterados induciendo una reducción del rendimiento ambiental del corredor, destacan aquellos que están relacionados con la ocupación modal de viajeros, como se puede ver en el *entorno de centralidad metropolitana, circulación motorizada y estaciones de transporte público*. En sentido contrario, el flujo de coches es el factor con un parámetro de saturación superior a 1 en función de su valor de óptimo que más presente está entre los diferentes entornos de movilidad, específicamente se puede encontrar en el entorno de proximidad y distribución local, así como en el entorno de centralidad metropolitana.

6.4.1.2 Rangos de variación ambiental del corredor

El **rango de variación ambiental** expresa el margen de variación existente para cada *factor* en un *entorno de movilidad* determinado. En consecuencia, el *rango de variación ambiental* podrá ser calculado para todos aquellos *factores* cuyo $PS < 1$ (ver apartado anterior 6.4.1.1).

El *rango de variación ambiental* se compone de:

- Un *rango de reducción del rendimiento ambiental*, expresado en porcentaje del *factor* que puede ser modificado hasta que el rendimiento ambiental alcance el UCI.
- Un *rango de incremento del rendimiento ambiental*, expresado en porcentaje del *factor* que puede ser modificado hasta que el rendimiento ambiental alcance el UCC.

En primer lugar se comentarán los resultados obtenidos para el **rango de reducción del rendimiento ambiental**.

En el **entorno de proximidad y alcance local** (ver tabla 3.13), 4 de los 10 *factores* en análisis presentan un *rango de reducción* muy alto (>75%). Tales *factores* son: el flujo de coches, cuya variación respecto de los valores existentes en la alternativa S.1 puede ser de hasta un +372,75%, la superficie del coche (+115,29%), la superficie del bus (+100%), junto con el flujo de buses (+86,82%). Por otro lado, la superficie del metro ligero podría ser incrementada hasta un 45,90%, mientras que la superficie verde y peatonal podría ser reducida en un 21,5%. El resto de *factores* no tienen incidencia significativa sobre el rendimiento ambiental del corredor en este *entorno de movilidad*, de acuerdo al análisis de sensibilidad mostrado.

Consecuencia de las características de este *entorno de movilidad* (ver apartado 6.3.3.1. en el capítulo 6), parece lógico que los *factores* sobre los que pueda inducirse una reducción del rendimiento ambiental estén relacionados con factores de flujo modal y superficie modal viaria, mientras que del *rango de reducción* para otros *factores* más relacionados con la promoción de una actividad más localizada, como es el caso de la superficie verde+peatonal, es más limitado, al ser también más determinantes para el propio *entorno de movilidad*.

Tabla 6.13. Rangos de reducción del rendimiento ambiental por factor y entorno de movilidad

FACTORES	ENTORNOS DE MOVILIDAD				
	Proximidad y alcance local	Proximidad y distribución circulatoria	Circulación motorizada	Centralidad metropolitana	Estaciones Transporte público
Supf. Verde+peatonal (m2/Km)	-21,75	-12,07	-49,25	-	-50,64
Supf. coche (m2/Km)	115,29	31,53	27,86	73,16	52,31
Supf. Bus (m2/Km)	100,00	89,37	100,00	100,00	86,77
Supf. ML (m2/Km)	45,90	79,00	-	16,70	16,60
Flujo Coches (veh/min)	372,75	-	168,51	257,62	23,91
Flujo Bus (veh/min)	86,82	67,82	131,94	155,02	-
Flujo ML (veh/min)	-	-	-	-	-
Ocupación Coche (viaj)	-	-23,63	-	-	-
Ocupación Bus (viaj)	-	-25,58	-	-	55,40
Ocupación metro ligero (viaj)	-	-36,79	-	-	20,45

Fuente: elaboración propia

Respecto del **entorno de proximidad y distribución circulatoria** (ver figura 3.11), el mayor margen para reducir el rendimiento ambiental del corredor se produce a través de la alteración de *factores* vinculados a modos de transporte público. Esta cuestión es muy importante, ya que deja la oportunidad de incrementar la presencia de tales modos de transporte sobre este *entorno de movilidad*, donde una de sus características principales está vinculada a las altas tasas de movilidad motorizada.

Los mayores *rangos de reducción* están presentes en los siguientes *factores*: superficie del bus (+89,37%) y superficie destinada al metro ligero (+79,0%). Respecto de la variación posible en la superficie del metro ligero, conviene aclarar que tienen un valor muy alto –a diferencia del resto de *entornos de movilidad*- como consecuencia de que la mayor parte del trazado transcurre en subterráneo (tramos 14, 15, 16 y 17), lo que quiere decir que sería viable a nivel ambiental a incorporar en superficie el sistema de metro ligero, sin que ello supusiese un efecto negativo sobre los niveles de rendimiento ambiental de este *entorno de movilidad*.

El tercero de los *entornos de movilidad* estudiados es el **entorno de circulación motorizada**, donde los factores que tienen un mayor *rango de reducción* son: el flujo de coches (168,51%), el flujo de buses (131,94%) y la superficie del bus (100%).

Es necesario destacar de los resultados obtenidos para este *entorno de movilidad*, que a pesar de que sus características centrales están vinculadas a un fuerte tránsito motorizado, aún tiene un amplio margen de alteración en *factores* directamente vinculados con esta cuestión, como por ejemplo, el flujo de coches o de autobuses. Esto hace pensar que el riesgo ambiental para este *entorno de movilidad* una vez se implante la alternativa S.1 es más bajo que otros lugares del corredor.

En cuanto a los resultados obtenidos para el **entorno de centralidad metropolitana**, se puede ver como hasta 4 de los 5 *factores* tienen un rango de reducción superior al 75%. Tales *factores* son: el flujo de coches (+257,62%), el Flujo de buses (+155,02%) y la superficie del bus (+100%). En menor medida destaca también la posibilidad de incrementar la superficie destinada del coche en un 73,16%.

Finalmente, es estudiado el **entorno orientado a estaciones de transporte público**, donde los *factores* con mayor *rango de reducción* son: la superficie del bus (+86,77%), la superficie del coche (+52,64%) y la superficie verde y peatonal (-50,64%).

La figura 3.11 recoge los *rangos de reducción del rendimiento ambiental* de cada *factor* y tramo del corredor.

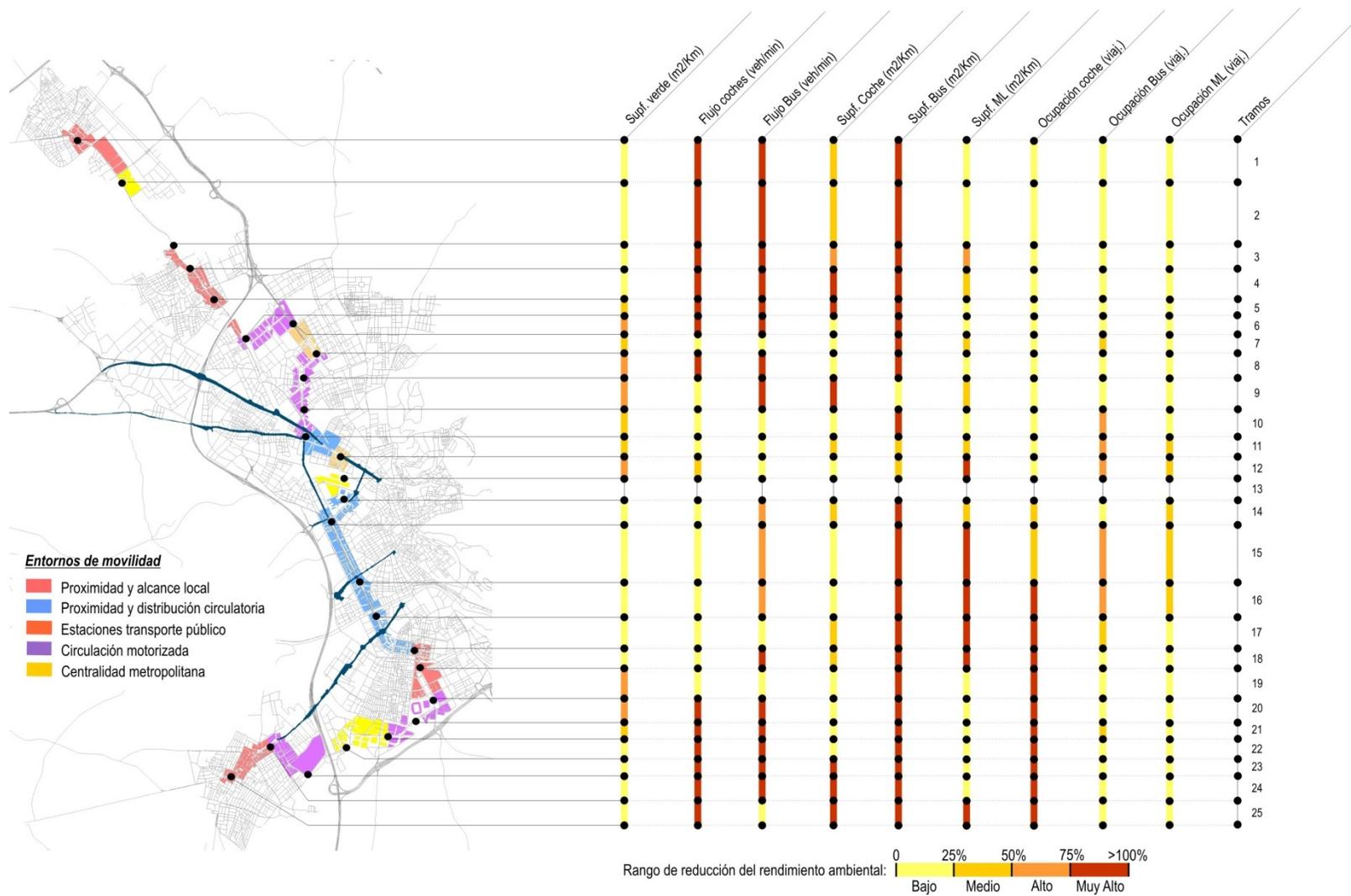


Figura 6.11. Esquema de los rangos de reducción del rendimiento ambiental en cada tramo del corredor. Fuente: elaboración propia

A continuación, son comentados los resultados obtenidos para el **rango de incremento del rendimiento ambiental**, que expresa el porcentaje del *factor* que puede ser modificado hasta que el rendimiento ambiental alcanza el UCC.

En el **entorno de proximidad y alcance local** (ver tabla 6.14), los *factores* que presentan un *rango de incremento* más alto son: los viajeros en metro ligero (+234,42%), los viajeros en bus (+126,44%) y la superficie verde y peatonal, que necesitaría de un incremento del 99,84% respecto de su valor en la alternativa S.1 para que el rendimiento ambiental alcance el UCC. El resto de factores poseen un *rango de incremento* bajo o nulo, lo que implica que la forma más eficiente de aumentar el nivel de rendimiento ambiental del corredor sea a partir de inducir cambios en los tres *factores* previamente comentados.

Tabla 6.14. Rangos de incremento del rendimiento ambiental de cada factor y entorno de movilidad

FACTORES	ENTORNOS DE MOVILIDAD				
	Proximidad y alcance local	Proximidad y distribución circulatoria	Circulación motorizada	Centralidad metropolitana	Estaciones Transporte público
Supf. Verde+peatonal (m2/Km)	99,84	14,97	40,95	162,83	-
Supf. coche (m2/Km)	-22,43	-60,84	-43,47	-25,11	-54,65
Supf. Bus (m2/Km)	-	-	-	-	-
Supf. ML (m2/Km)	-30,74	-14,18	-	-11,99	-47,12
Flujo Coches (veh/min)	-	-73,96	-32,88	0,00	-58,68
Flujo Bus (veh/min)	-	-29,05	-	-1,15	-64,11
Flujo ML (veh/min)	-	-	-	-	-
Ocupación Coche (viaj)	-	-	-	234,64	30,47
Ocupación Bus (viaj)	126,44	47,19	91,47	90,38	-
Ocupación metro ligero (viaj)	234,42	-	109,54	223,82	27,90

Fuente: elaboración propia

En cuanto al **entorno de proximidad y distribución circulatoria**, los factores con rangos de incremento más altos son: el flujo de coches (-73,96%), la superficie del coche (-60,84%), el flujo de buses (-47,19%) y la superficie de bus (-29,9%). El resto de factores tienen un rango de incremento del rendimiento ambiental bajo o nulo. A diferencia del entorno de movilidad anterior, los factores con mayor rango de incremento del rendimiento ambiental están relacionados con la circulación de coches y autobuses, una cuestión importante si se piensa que una de las características fundamentales de este entorno de movilidad, se basa en la distribución de flujos de movilidad, especialmente como consecuencia de su conexión con ejes transversales relevantes para el corredor.

El tercero de los entornos de movilidad estudiados es el **entorno de circulación motorizada**, donde los factores con mayor rango de incremento del rendimiento ambiental son: los viajeros transportados en metro ligero (+109,54%), los viajeros en bus (+91,47%), la superficie verde y peatonal (+43,47%), la superficie del coche (+43,47%), junto con el flujo de coches, cuya disminución en un 32,8% respecto de su valor en la alternativa S.1, haría que el rendimiento ambiental del corredor alcance el UCC.

El cuarto de los entornos de movilidad analizados es el **entorno de centralidad metropolitana**. Los factores con rangos de incremento más altos son: los viajeros en coche (+234,64%), los viajeros en metro ligero (90,38%), junto con la superficie verde y peatonal (+162,38%).

En último lugar es estudiado el **entorno orientado a estaciones de transporte público**. En este caso particular han sido tres los factores con un mayor rango de incremento del impacto ambiental: el flujo de buses (-64,11%), el flujo de coches (-58,68%), junto con la superficie del coche, cuya disminución en un 54,65% respecto de su valor en la alternativa S.1, haría que el rendimiento ambiental del corredor alcance su UCC en este entorno de movilidad.

La figura 6.12 recoge los rangos de incremento del rendimiento ambiental de cada factor y tramo del corredor.

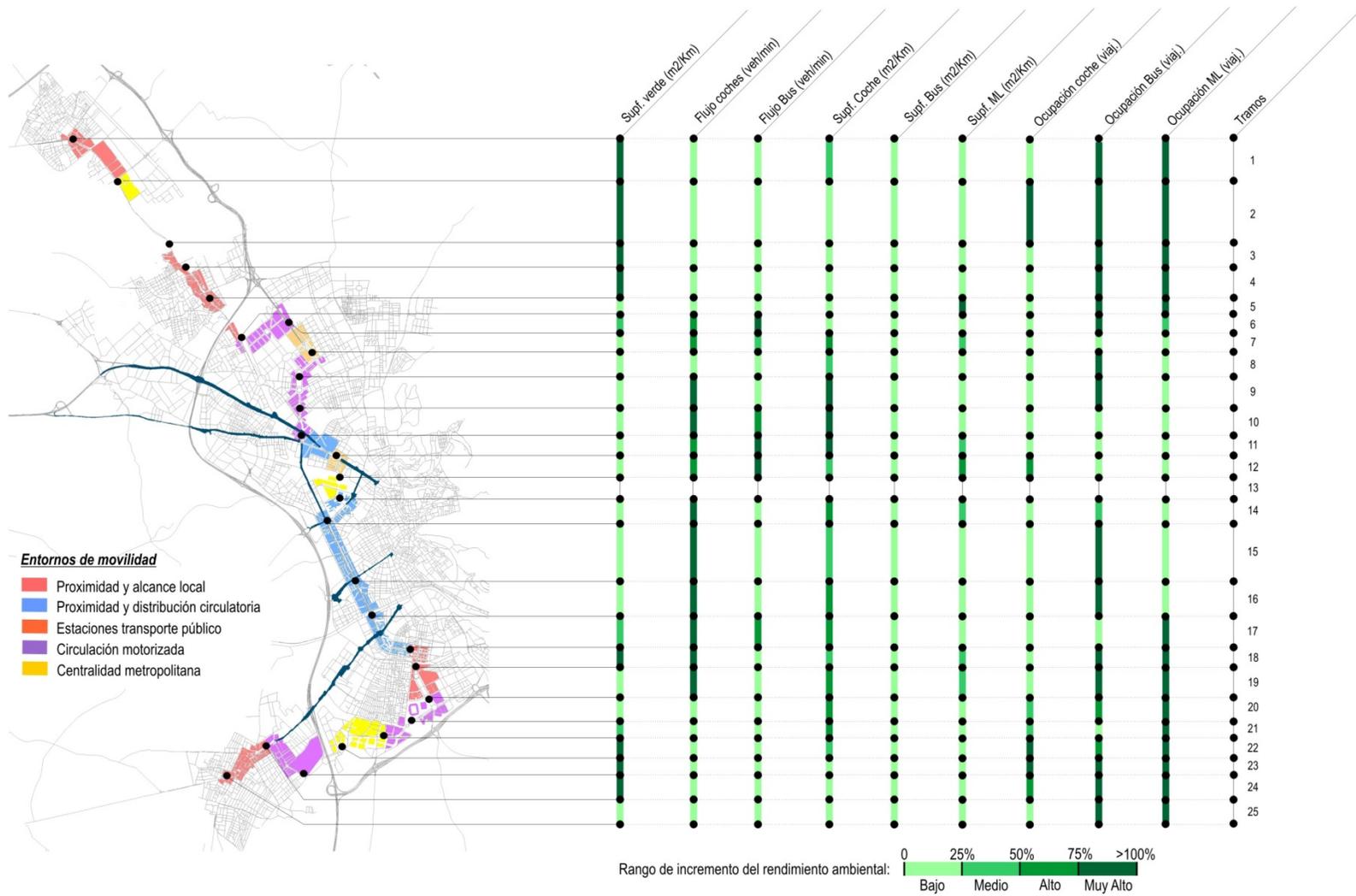


Figura 6.12. Esquema de los rangos de incremento del rendimiento ambiental para cada tramo del corredor. Fuente: elaboración propia

A modo de síntesis, los resultados obtenidos dejan ver que aquellos *factores* que directamente están relacionados con la circulación de autobuses públicos, tales como, el flujo de buses y la superficie viaria de bus, son los principales *factores* cuya alteración puede ir en sentido de reducir el rendimiento ambiental del corredor sin que superar su UCI. La explicación de esta cuestión reside esencialmente en como la alternativa S.1 planteada para el corredor tiene en cuenta este modo de transporte, tanto en lo que respecta a su número de líneas, itinerarios y frecuencias de paso, como en lo que tiene que ver con proyectar una superficie reservada en la vía para su circulación.

Comparando la propuesta de líneas de autobús público en la alternativa S.0 respecto de la S.1, se puede ver como en esta segunda se produce una disminución drástica de las mismas, especialmente de aquellas cuyo itinerario en una gran parte coincide con el sistema de metro ligero. Además de lo anterior, con excepción de los tramos 11 y 12, en ningún tramo se prevé la implantación de superficies reservadas al autobús (ver capítulo 3). Esta situación hace que el análisis de sensibilidad realizado muestre que desde un punto de vista ambiental sería asumible por parte de todos los *entornos de movilidad*, incorporar un mayor número de autobuses públicos que refuercen las opciones de intermodalidad con el sistema de metro ligero, lo que se puede ver en que el flujo de autobús y la implantación de una plataforma reservada para este modo, son los *factores* con mayor *rango de reducción* en los diferentes *entornos de movilidad* estudiados.

Por otro lado, los *factores* vinculados a la ocupación modal de viajeros y, principalmente, los relacionados con modos de transporte público, son aquellos que tienen un *rango de incremento del rendimiento ambiental* más elevado. Esta situación es especialmente significativa en el caso del *entornos de circulación motorizada* y del *entorno centralidad metropolitana*, que por sus características particulares concentran una importante cantidad de flujos de movilidad.

Respecto del flujo de coches, conviene apuntar que tiene un comportamiento variable en función de cada entorno de movilidad, de modo que afecta en todos ellos, tanto por un elevado *rango de reducción* (*entorno de proximidad y alcance local, entorno circulación motorizada y entorno centralidad metropolitana*), como por un elevado *rango de incremento del rendimiento ambiental* (*entorno de proximidad y alcance local y entorno orientado a estaciones de transporte público*).

Finalmente, aclarar que el hecho de que la superficie destinada al sistema de metro ligero aparezca como factor de *reducción del rendimiento ambiental* en el *entorno de proximidad y distribución circulatoria*, responde a que en la mayor parte del trazado de este *entorno* de movilidad, el sistema de metro ligero transcurre de forma subterránea. Por lo tanto, lo que indica esto es que ambientalmente sería viable a partir del diseño inicial de la alternativa S.1 proyectar dicho sistema de metro ligero en superficie.

La figura 6.13 recoge los *rangos de variación ambiental por factor y entorno de movilidad*.

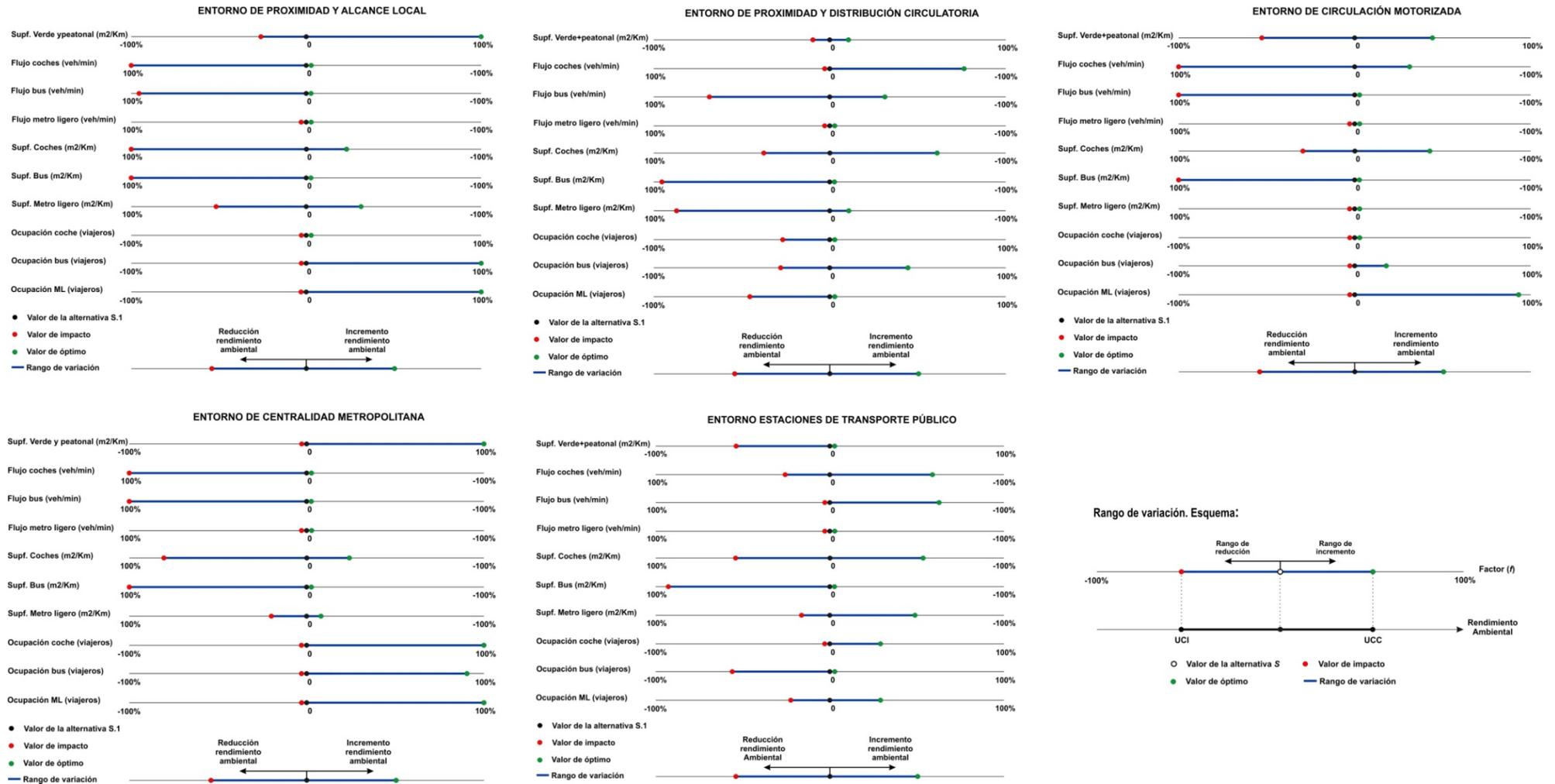


Figura 6.13. Rangos de variación estimados para cada factor y entorno de movilidad. Fuente: elaboración propia

6.4.2 Capacidad de absorción y capacidad de mejora de cada "entorno de movilidad"

La *capacidad de absorción* y la *capacidad de mejora*, hacen referencia a dos medidas globales para el total de *factores* con influencia en cada *entorno de movilidad*.

La **capacidad de absorción** es una medida global que tiene en cuenta el total de *factores considerados* para un *entorno de movilidad*, relativa a la capacidad del corredor para asumir alteraciones en sus diferentes *factores*, orientadas a reducir su rendimiento ambiental.

Se expresa como:

$$C_{ab} = \left(\frac{\sum \text{rang. abs.}}{N} \right) * P$$

Donde:

C_{ab}, expresa la *capacidad de absorción* de un *entorno de movilidad* determinado

Rang. Reducción, expresa el *rango de reducción* de cada factor en tanto por uno

N, hace referencia al número total de *factores*

P, hace referencia al número de *factores* que tienen margen de ser alterados propiciado una reducción del rendimiento ambiental del corredor

Por otro lado, la **capacidad de mejora** es una medida global que tiene en cuenta el total de *factores considerados* para un *entorno de movilidad*, relativa a la capacidad del corredor para asumir alteraciones en sus diferentes *factores*, orientadas a mejorar su rendimiento ambiental.

Se expresa como:

$$C_{mej} = \left(\frac{\sum \text{rang. red.}}{N} \right) * P$$

Donde:

C_{mej}, expresa la *capacidad de mejora* de un *entorno de movilidad* determinado

Rang. Incremento, expresa el *rango de incremento del rendimiento ambiental* de cada factor en tanto por uno.

N, hace referencia al número total de *factores* considerados

P, hace referencia al número de *factores* que tienen margen de ser alterados propiciado un aumento del rendimiento ambiental del corredor

La principal utilidad de los dos conceptos propuestos se basa en que permiten en un golpe de vista, comparar las posibilidades de alteración del rendimiento ambiental del corredor en cada *entorno de movilidad*.

La tabla 6.15 recoge los resultados obtenidos para la *capacidad de absorción y la capacidad de mejora* en cada *entorno de movilidad*.

Tabla 6.15. Capacidad de absorción y capacidad de mejora de cada *entorno de movilidad*

INDICADOR	ENTORNO DE MOVILIDAD				
	Proximidad y alcance local	Proximidad y distribución circulatoria	Circulación motorizada	Centralidad metropolitana	Estaciones Transporte público
Cap. Absorción	4,46	2,93	2,39	3,01	2,14
Cap. Mejora	2,57	1,44	1,59	5,25	1,70

Fuente: elaboración propia

En cuanto a los resultados obtenidos para la **capacidad de absorción**, destaca sobre el resto, el *entorno de proximidad y alcance local*, que con un resultado de 4,46 es el *entorno de movilidad* con mayor capacidad para alterar el valor de sus *factores* en la alternativa S.1 induciendo una reducción de su rendimiento ambiental.

El segundo *entorno de movilidad* con más alta *capacidad de absorción* es el *entorno de centralidad metropolitana* (3,01), seguido de cerca por el *entorno de proximidad y distribución circulatoria* (2,93). La principal diferencia entre estos dos *entornos de movilidad* reside esencialmente, en que la *capacidad de absorción* del *entorno de centralidad metropolitana* es consecuencia del amplio margen de alteración de sus *factores*, mientras que en el caso del *entorno de proximidad y distribución circulatoria*, es consecuencia de tener un mayor número *factores* alterables, aunque con un bajo margen de modificación.

Finalmente, los *entornos de movilidad* relativos a *circulación motorizada* (2,39) y *estaciones de transporte público* (2,14) son los *entornos* con una menor *capacidad de absorción* de todo el corredor, lo que está directamente asociado a la fuerte intensidad de flujos de tráfico.

El segundo de los conceptos analizados ha sido la **capacidad de mejora** de cada *entorno de movilidad*. Los resultados muestran que el *entorno de centralidad metropolitana* es aquel que tiene un valor más alto (5,25), seguido del *entorno de proximidad y alcance local* (2,57).. En el primero de los casos, su alta *capacidad de mejora* es consecuencia de que tiene un alto número de *factores* alterables, mientras que en lo que respecta al *entorno de proximidad y alcance local*, tiene que ver con el amplio margen de variación de sus *factores* modificables.

El resto de *entornos de movilidad* poseen valores muy próximos entre sí. El *entorno de proximidad y distribución circulatoria* posee una *capacidad de mejora* del 1,44, el *entorno de circulación motorizada* de 1,50 y, finalmente, el *entorno orientado a estaciones de transporte público* presenta una *capacidad de mejora* de 1,70.

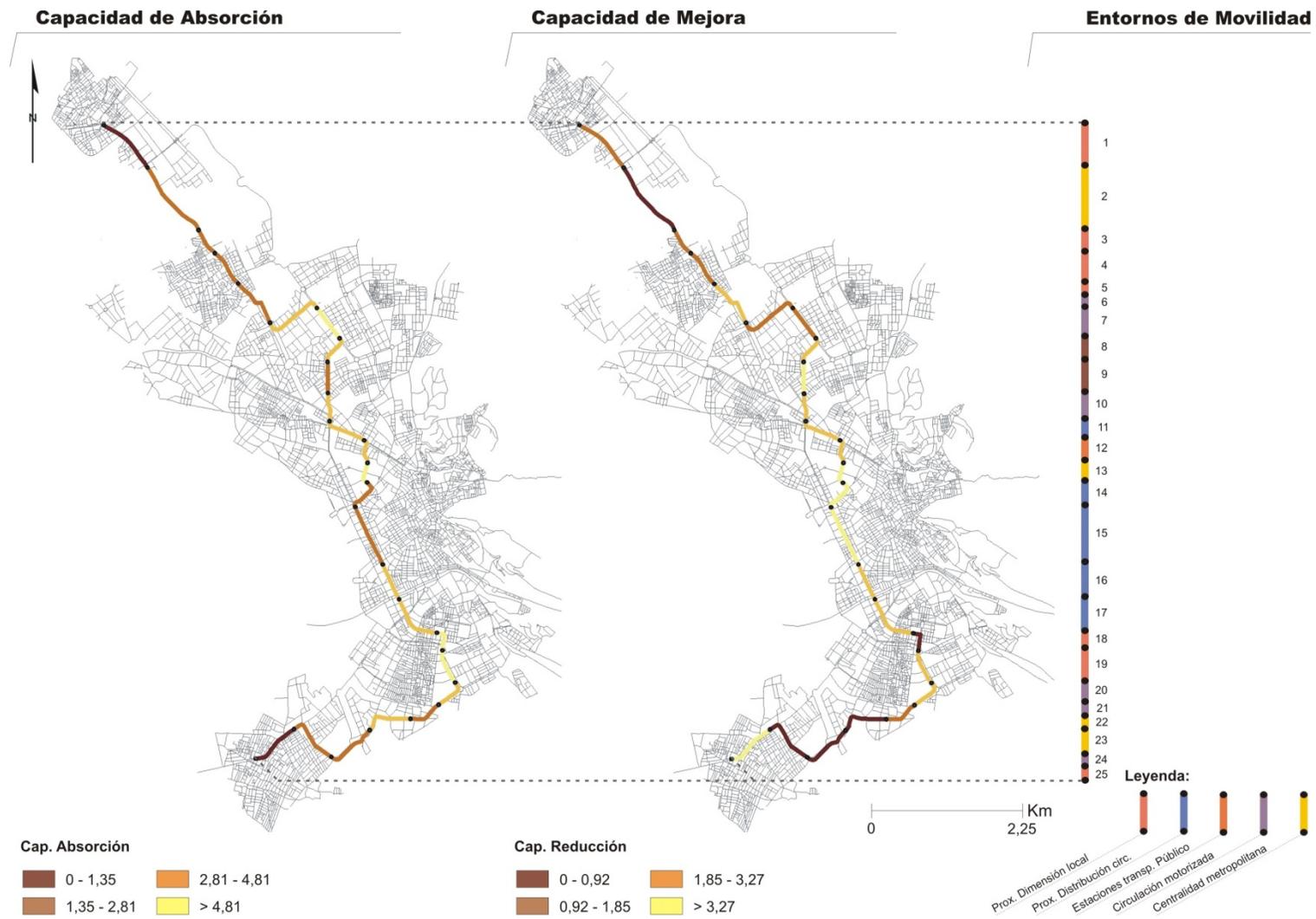


Figura 6.14. Capacidad de absorción y capacidad de mejora por *entorno de movilidad* y tramo. Fuente: elaboración propia

6.5 Conclusiones

6.5.1. Sobre la utilidad de estudiar los “condicionantes del rendimiento ambiental”

A lo largo del capítulo se han propuesto, desarrollado y aplicado diferentes conceptos, todos ellos encaminados a estudiar los *condicionantes del rendimiento ambiental de la movilidad urbana o condicionantes ambientales*. Las principales utilidades de estos conceptos residen en:

- Conocer qué *factores* son los principales limitantes del rendimiento ambiental para cada *entorno de movilidad*, ya que su alteración, bien puede tener consecuencias graves para el rendimiento ambiental del corredor, o bien, tales alteraciones no son efectivas a la hora de hacer que el corredor mejore sus niveles de rendimiento ambiental. La figura 6.10 en el apartado 6.4.1.1 relativo a los **parámetros de saturación ambiental del corredor** ilustran este aspecto.
- Conocer cuál es el margen de variación existente para cada *factor*, bien para incrementar el rendimiento ambiental, o bien para disminuirlo. Tales conclusiones se pueden obtener a partir del denominado **rango de variación ambiental**, siendo de utilidad para orientar posibles modificaciones de las alternativas evaluadas. Las figuras 6.11 y 6.12 en el apartado 6.4.1.2 son representativas de esta cuestión.
- Profundizar en la comparación de alternativas conociendo qué *entornos de movilidad* tienen más capacidad de absorber modificaciones en sus diferentes *factores* encaminadas a reducir el rendimiento ambiental del corredor (**capacidad de absorción**), o por el contrario, aquellos *entornos de movilidad* que tienen una mayor capacidad para alterar sus *factores* propiciando un incremento de su rendimiento ambiental (**capacidad de mejora**). La figura 6.14 en el apartado 6.4.2 son representativas de esta cuestión

6.5.2. Sobre el método utilizado y los resultados obtenidos

El método sobre el que reside el estudio de los *condicionantes ambientales* es un análisis de sensibilidad, que permite conocer cómo cambia el rendimiento ambiental del corredor cuando se alteran diferentes *factores* con influencia en éste (ver apartado 6.3). De su aplicación en el caso de estudio de esta investigación se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El método ha sido sensible a los diferentes *factores* utilizados en el capítulo, permitiendo calcular para cada uno de ellos, un **valor de impacto**, equivalente al valor del *factor* que haría que el rendimiento ambiental alcance el UCI, junto a un **valor de óptimo**, equivalente al valor del *factor* que haría que el rendimiento ambiental alcance el UCC.
- De cara a posibles mejoras del análisis de sensibilidad, conviene apuntar que calibrar en base a experiencias, la influencia que tienen unos *factores* sobre otros, puede ayudar a que los resultados del análisis de sensibilidad ganen en precisión.

- Complementar el análisis de sensibilidad realizado con *factores* relativos a la definición de *entornos de movilidad* supone una de las principales líneas de progreso de este campo, ya que incrementaría la capacidad de estas herramientas como sistemas de ayuda orientados tanto a la decisión como a la planificación.

De los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Predominan más los *factores* con un $PS_i > 1$ que aquellos con un $PS_o > 1$. Esto advierte de que lejos de que el valor de los *factores* en la alternativa S.1 estén próximos a situaciones que induzcan un aumento de su rendimiento ambiental, ocurre la situación contraria, por lo que desarrollar un paquete de medidas adicionales a la implantación de la alternativa S.1, orientados a mejorar aquellos factores con un $PS_i > 1$, es fundamental de cara al rendimiento ambiental del corredor.
- En cuanto a los *factores* que pueden ser alterados, destacan aquellos directamente relacionados con la circulación de autobuses públicos, como los principales *factores* cuya alteración puede ir en sentido de reducir el rendimiento ambiental del corredor sin superar su UCI. La explicación de esta cuestión reside esencialmente en como la alternativa S.1 planteada para el corredor tiene en cuenta este modo de transporte, tanto en lo que respecta a su número de líneas, itinerarios y frecuencias de paso, como en lo que tiene que ver con proyectar una superficie reservada en la vía para su circulación.
- Por otro lado, los *factores* vinculados a la ocupación modal de viajeros y, principalmente, los relacionados con modos de transporte público, son aquellos que tienen un *rango de incremento del rendimiento ambiental* más elevado. Esta situación es especialmente significativa en el caso del *entornos de circulación motorizada* y del *entorno centralidad metropolitana*, que por sus características particulares concentran una importante cantidad de flujos de movilidad.
- Respecto del flujo de coches, conviene apuntar que tiene un comportamiento variable en función de cada entorno de movilidad, de modo que afecta en todos ellos, tanto por un elevado *rango de reducción* (*entorno de proximidad y alcance local, entorno circulación motorizada y entorno centralidad metropolitana*), como por un elevado *rango de incremento* del rendimiento ambiental (*entorno de proximidad y distribución circulatoria y entorno orientado a estaciones de transporte público*).

CAPÍTULO 7

EL “MODELO DE UMBRALES AMBIENTALES”.

APLICACIÓN Y UTILIDAD

CAPÍTULO 7. EL “MODELO DE UMBRALES AMBIENTALES”. APLICACIÓN Y UTILIDAD

ÍNDICE

7.1	Introducción y objetivos	.....	394
7.2	El “modelo de umbrales ambientales”. Fases y resultados	.....	394
7.3	Utilidad del “modelo de umbrales ambientales”	.....	400
7.4	Conclusiones	.....	407

Resumen

Los contenidos del capítulo sintetizan las distintas fases que integran el *modelo de umbrales ambientales* y su posible aplicación. Para ello, en una primera parte se exponen las características principales de cada una de las fases del *modelo*, así como, las relaciones existentes entre cada una de ellas. En la segunda parte se analiza la utilidad del *modelo* en torno a su capacidad para la comparación ambiental de alternativas, su capacidad de diagnóstico ambiental y su capacidad para orientar la decisión ambiental.

Abstract

The chapter exposes the different steps of model's application. On the one hand, the main characteristics of *model* are analyzed, as well as, the relations between the different phases of *model* are commented. On the other hand, the usefulness of *model* is studied from the model capacity of environmental comparison, the model capacity of environmental diagnostic and the model capacity of environmental decision.

7.1. Introducción y objetivos

A lo largo del trabajo se han ido desarrollado paso a paso cada una de las fases o etapas que componen al *modelo de umbrales ambientales*, analizando de forma detallada sus resultados en el caso específico de las dos alternativas planteadas en el corredor de movilidad del área metropolitana de Granada.

Este capítulo, tras proponer nuevos conceptos e instrumentos en capítulos anteriores, se ocupa de mostrar una imagen de conjunto del *modelo de umbrales ambientales*, poniendo énfasis en la capacidad de retroalimentación entre unas y otras etapas del *modelo*, la utilidad de sus resultados para posibles usuarios, su versatilidad, etc.

El capítulo se estructura en tres partes. La primera parte se ocupa de analizar cada una de las fases del *modelo de umbrales ambientales* dotando de una visión de conjunto a los resultados obtenidos en cada una de ellas. La segunda parte se encarga de analizar la capacidad del *modelo* respecto a su utilidad, desde tres puntos de vista inherentes a sus objetivos de diseño: (i) *Capacidad de comparación ambiental* de posibles alternativas/intervenciones sobre la movilidad urbana; (ii) *Capacidad de diagnóstico ambiental* desde una perspectiva de rendimiento y basada en umbrales ambientales; (iii) *Capacidad de orientar la decisión ambiental* que alimente su enfoque proactivo con otras dimensiones relevantes en la planificación y evaluación de la movilidad urbana. La tercera y última parte del capítulo recoge las principales conclusiones obtenidas.

Los objetivos a alcanzar son:

- Mostrar una visión de conjunto del *modelo de umbrales ambientales* que facilite el entendimiento de su aplicabilidad y complementariedades respecto de otros instrumentos de evaluación ambiental.
- Sintetizar y analizar algunos de los rasgos más destacados del *modelo de umbrales ambientales* y de los resultados obtenidos en el caso de estudio utilizado.

7.2. El “modelo de umbrales ambientales”. Fases y resultados.

Tal y como se recoge en la introducción general de la investigación, el *modelo* planteado se compone de 5 fases (ver figura 7.1), estando las 3 primeras vinculadas a la evaluación del corredor desde el punto de vista de su sección viaria: (i) Fase 1ª. Caso de estudio; (ii) Fase 2ª. Sistema de indicadores; (iii) Fase 3ª. Umbrales ambientales. Mientras que las 2 últimas fases extienden la evaluación al entorno urbano del corredor: (iv) Fase 4ª. Entornos de movilidad; (v) Fase 5ª. Condicionantes ambientales.

Cada fase del modelo alimenta la aplicación de la siguiente, siendo un proceso en cadena, que de forma incremental va añadiendo nueva información en cada etapa sobre la información existente en la etapa anterior.

FASE 1. CASO DE ESTUDIO.

Acotar las diferentes alternativas que son objeto de evaluación. Esto supone un proceso de reconocimiento de las fuentes de información disponibles y su utilidad para evaluar el rendimiento ambiental de la movilidad urbana en cada alternativa.

FASE 2. SISTEMA INDICADORES.

Diseñar un sistema de indicadores para evaluar el rendimiento ambiental de la movilidad urbana en cada una de las alternativas. Los indicadores seleccionados estarán basados en características propias del funcionamiento de la movilidad urbana.

FASE 3. UMBRALES AMBIENTALES

Adoptar umbrales ambientales para cada uno de los indicadores que conforman el sistema de evaluación, con el objetivo de delimitar diferentes niveles de rendimiento ambiental para cada uno de ellos.

FASE 4. ENTORNOS MOVILIDAD

Los resultados de rendimiento ambiental se contextualizarán sobre diferentes unidades espaciales en las que será zonificado el caso de estudio, como consecuencia de una valoración integrada de las características de la estructura urbana y los modos de viaje

FASE 5. CONDICIONANTES AMB.

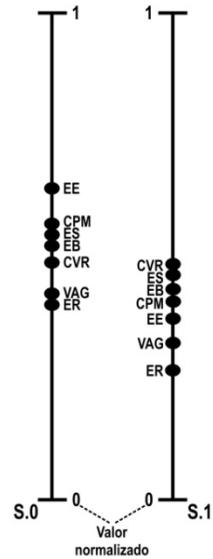
Analizar qué factores de la movilidad urbana son más influyentes sobre el rendimiento ambiental en las diferentes alternativas, dotando a la evaluación realizada de una mayor precisión y reforzando el carácter proactivo del modelo.

MODELO

Alternativas:

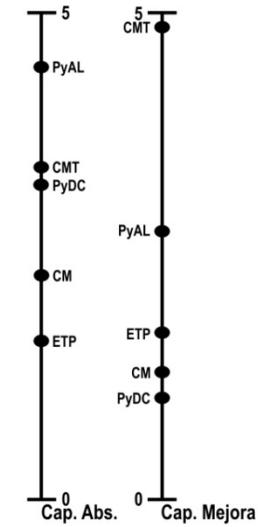
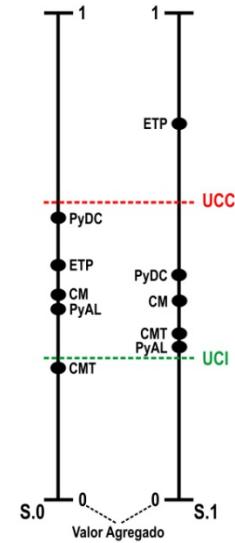
- La **alternativa S.0**, relativa a mantener el corredor sin implantar el sistema de metro ligero.

- La **alternativa S.1** relativa a realizar una reordenación viaria y de los sistemas de transporte del corredor como consecuencia de implantar el sistema de metro ligero



Niveles de rendimiento	Número de tramos (alternativa S.0)						
	EE	ES	CPM	ER	CVR	EB	VAG
Óptimo	4	8	18	1	12	4	3
Aceptable	19	2	6	1	13	5	18
Negativo	2	15	1	23	0	16	4

Niveles de rendimiento	Número de tramos (alternativa S.1)						
	EE	ES	CPM	ER	CVR	EB	VAG
Óptimo	12	15	22	1	10	6	4
Aceptable	13	2	3	0	15	9	21
Negativo	0	8	0	24	0	10	0



EE: Eficiencia energética; ES: Eficiencia superficial; CPM: Concentración de Pm10;
ER: Emisión de ruido; CVR: Coeficiente viario de reparto; EB: Efecto barrera; VAG: Valor ambiental global

PyAL: Entorno de proximidad y alcance local; PyDC: Entorno de proximidad y distribución circulatoria;
CM: Entorno circulación motorizada; CMT: Entorno centralidad metropolitana;
ETP: Entorno estaciones de transporte público

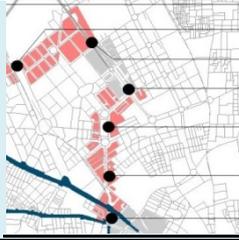
Figura 7.1. Fases del modelo y resultados obtenidos. Fuente: elaboración propia

Respecto de las 3 etapas iniciales, a continuación se exponen algunas de las principales características de los resultados obtenidos:

- Fase 1ª. Caso de estudio: la primera fase del modelo implica acotar las diferentes alternativas que son objeto de evaluación. Dada la naturaleza del *modelo de umbrales ambientales*, las alternativas propuestas deben representar escenarios de movilidad con información suficiente para una adecuada evaluación de la movilidad en términos de rendimiento, tomando como base su funcionamiento ambiental. De este modo, para el caso del área metropolitana de Granada se han propuesto dos alternativas a partir de dos tipos de *factores* (ver capítulos 2 y 6): (i) *Constantes*, cuyo valor es similar en cada una de las alternativas evaluadas. Por ejemplo: coeficientes modales de consumo de energía, coeficientes modales de emisión de contaminantes, pesos de ponderación para obtener un índice agregado de rendimiento ambiental, etc.; (ii) *Variables*: cuyo valor es diferente en cada una de las alternativas, caracterizando a éstas. Por ejemplo: la ocupación modal de viajeros, la distribución de la superficie modal viaria o el flujo modal de vehículos.
- Fase 2ª. Sistema de indicadores: Tomando como punto de partida las alternativas planteadas con anterioridad, en esta fase se propone un sistema de indicadores representativo del funcionamiento ambiental de la movilidad urbana, capaces de ofrecer lecturas ambientales parciales y agregadas, así como, de poner en relación tendencia ambiental de cada alternativa y capacidad transformadora sobre el corredor (ver capítulo 3). Sus resultados son una primera aproximación al caso de estudio respondiendo a las dos cuestiones siguientes: (i) ¿Cuál es la tendencia ambiental de cada alternativa?; (ii) ¿Qué relación existe entre la tendencia ambiental y la capacidad transformadora de cada alternativa?
- Fase 3ª. Umbrales ambientales: Utilizando el sistema de indicadores propuesto en la etapa anterior, esta fase se ocupa de estimar dos umbrales ambientales, de calidad (UCC) y de impacto (UCI) para cada indicador, de modo que los resultados de tales indicadores se agrupan en tres posibles niveles de rendimiento ambiental: (i) óptimo; (ii) aceptable; (iii) negativo. De este modo, los resultados obtenidos en esta fase responden a las siguientes dos cuestiones: (i) ¿Cómo de eficaces son los cambios ambientales existentes entre las distintas alternativas?; (ii) ¿Qué compensaciones ambientales se identifican entre unas alternativas y las otras?

La tabla 7.1 recoge una síntesis de los resultados obtenidos en estas tres etapas del modelo en los tramos 8, 9 y 10 del corredor.

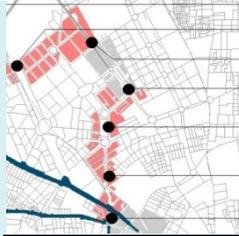
Tabla 7.1. Fases 1ª, 2ª y 3ª del *modelo de umbrales ambientales*. Tramos 8, 9 y 10

	<h2>EL MODELO DE UMBRALES AMBIENTALES EN LOS TRAMOS 8, 9 Y 10 DEL CORREDOR (I)</h2>
<p>FASE 1ª. CASO DE ESTUDIO (ampliar información en capítulo 2)</p>	
<p>Tomando como referencia algunos de los <i>factores</i> más determinantes en el planteamiento de cada alternativa para los tramos 8, 9 y 10, destaca la reducción de la superficie verde+peatonal en un 8% en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, conjuntamente con la reducción del 10% del flujo de coches, la reducción del 33% del flujo de autobuses y, finalmente, la implantación en la alternativa S.1 del sistema de metro ligero con una frecuencia de circulación de 0,25 veh/min.</p>	
<p>FASE 2ª. SISTEMA DE INDICADORES (ampliar información en capítulo 3)</p>	
<p>Los resultados obtenidos para los tramos 8, 9 y 10 en esta fase del <i>modelo</i> se caracterizan en que la alternativa S.1 muestra una tendencia ambiental más favorable que la alternativa S.0, relacionada principalmente con variaciones en la coexistencia modal viaria de cada alternativa, la dotación de espacio público y, especialmente, con los viajeros-Km pronosticados.</p>	
<p>De los 6 indicadores utilizados, en todos se reduce el resultado obtenido para estos tramos en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, con excepción del coeficiente viario de reparto, que posee un ligero incremento. Destacan por tener una tendencia ambiental más favorable el indicador eficiencia superficial con reducciones de los $m^2/viaj-Km$ del 72% en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, el indicador eficiencia energética con reducciones de los $MJ/viaj-Km$ del 42%, el efecto barrera y el valor ambiental global con reducciones del 26% en ambos casos. El resto de indicadores reducen su valor en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, entre un 8% y un 12%.</p>	
<p>FASE 3ª. UMBRALES AMBIENTALES (ampliar información capítulo en 4)</p>	
<p>Sobre los resultados obtenidos en la fase anterior se han aplicado dos umbrales ambientales a cada indicador. Los resultados dejan ver que aunque existe una tendencia ambiental más favorable en la alternativa S.1 que en la alternativa S.0, los cambios ambientales percibidos no son lo suficientemente intensos como para inducir cambios en los niveles de rendimiento ambiental, por ello, se podría cuestionar la eficacia de tales cambios ambientales en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0.</p>	
<p>De los 6 indicadores utilizados, en 2 de ellos se percibe mejoras en los niveles de rendimiento ambiental definidos. Específicamente esto ocurre para el indicador eficiencia energética donde el tramo 8 pasa de un <i>rendimiento negativo</i> en la alternativa S.0 a un <i>rendimiento aceptable</i> en la alternativa S.1, conjuntamente con los tramos 9 y 10 que ambos pasan de un <i>rendimiento aceptable</i> a un <i>rendimiento óptimo</i>. Al igual que la eficiencia energética, el otro indicador que experimenta cambios en sus niveles de rendimiento es la eficiencia superficial, donde los tramos 8 y 9 pasan de un <i>rendimiento negativo</i> en la alternativa S.0 a un <i>rendimiento óptimo</i> en la alternativa S.1.</p>	

Las dos fases finales del modelo (fases 4ª y 5ª) extiende la evaluación realizada al entorno urbano del corredor. Sus principales características son (ver tabla 7.2):

- Fase 4ª. Entornos de movilidad. Tras definir diferentes *entornos de movilidad* a partir de la interacción de factores de la estructura urbana y de los modos de viaje del corredor, éstos se ponen en relación con las medidas de rendimiento ambiental realizadas en las fases anteriores del modelo (ver capítulo 5). De esta forma, la evaluación queda orientada a un enfoque integrado de la movilidad y los usos del suelo, tratando de responder a las siguientes dos cuestiones clave: (i) ¿Cuáles son las principales demandas ambientales de la movilidad en cada uno de los *entornos* identificados?; (ii) ¿Los cambios ambientales propuestos en cada alternativa están orientados a tales demandas ambientales?
- Fase 5ª. Condicionantes ambientales. La última fase del *modelo* integra todos los elementos abordados en etapas anteriores, proponiendo y desarrollando diferentes conceptos que facilitan la decisión ambiental sobre las alternativas planteadas (ver capítulo 6). Esta última parte del modelo trata de responder a las siguientes cuestiones: ¿Qué *factores* de cada alternativa son más influyentes en el rendimiento ambiental del corredor? ¿Qué *entornos de movilidad* pueden tener mayores modificaciones de las alternativas planteadas?

Tabla 7.2. Fases 4ª y 5ª del modelo de umbrales ambientales. Tramos 8, 9 y 10

	<h2 style="margin: 0;">EL MODELO DE UMBRALES AMBIENTALES EN LOS TRAMOS 8, 9 Y 10 DEL CORREDOR (II)</h2>
<p>FASE 4ª. ENTORNOS DE MOVILIDAD (ampliar información en capítulo 5)</p> <p>Los tramos 8, 9 y 10 del corredor forman parte del denominado entorno de circulación motorizada, que hace referencia a aquellos tramos del corredor cuya movilidad está caracterizada por una muy débil dimensión local del medio urbano, aspecto que refuerza su condición como lugares de tránsito y/o circulación. Son lugares con baja o muy baja densidad residencial (<30 Viv/Ha). La intensidad de actividades no residenciales es baja o muy baja con valores en promedio de 53,56 act/1000 viv. En cuanto a los modos de acceso, es preciso indicar que son espacios con alto o muy alto nivel de tránsito motorizado respecto del nivel de actividad no residencial, con valores en promedio de 384,27 veh/actividad y 23,68 autobuses/actividad al día.</p> <p>Desde el punto de vista del rendimiento ambiental del corredor, serán más importantes aquellos aspectos de la movilidad directamente relacionados con la circulación motorizada. De ahí, que se consideren determinantes para evaluar su rendimiento ambiental, los indicadores de eficiencia energética y eficiencia superficial de la movilidad urbana, conjuntamente con la concentración de PM₁₀.</p> <p>Con excepción de la concentración de PM₁₀ que no altera sus niveles de rendimiento ambiental en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 para estos tramos del corredor, tanto la eficiencia energética como la eficiencia superficial presentan una mejora evidente de tales niveles de rendimiento, que se traduce en mejoras fuertes para los tres tramos en el caso de la eficiencia superficial, conjuntamente con una mejora fuerte en el tramo 8 para la eficiencia energética y débil en el tramo 10. Desde este punto de vista, se podría decir que el planteamiento de la alternativa S.1 en estos tramos que integran el <i>entorno de circulación motorizada</i>, es positivo desde el punto de vista ambiental, al estar en consonancia con las características urbanísticas y de movilidad del corredor.</p>	
<p>FASE 6ª. CONDICIONANTES AMBIENTALES (ampliar información en capítulo 3)</p> <p>Partiendo de la alternativa S.1 como aquella más favorable desde un punto de vista ambiental y dado que los tres tramos que integran este ejemplo (tramos 8, 9 y 10) forman parte del <i>entorno de circulación motorizada</i>, es necesario apuntar que cualquier modificación que pretenda realizarse sobre esta alternativa debería considerar que los factores que tienen un mayor rango de reducción del rendimiento ambiental son: el flujo de coches (168,51%), el flujo de buses (131,94%) y la superficie del bus (100%). Por otro lado, los factores con un mayor rango de mejora del rendimiento ambiental son: los viajeros transportados en metro ligero (+109,54%), los viajeros en bus (+91,47%), la superficie verde y peatonal (+43,47%), la superficie del coche (+43,47%) y el flujo de coches (32,8%).</p>	

7.3. Utilidad del “modelo de umbrales ambientales”

Este apartado se centra en exponer algunas de las principales utilidades del modelo relacionadas con diferentes capacidades inherentes a su diseño: (i) *Capacidad de comparación ambiental*; (ii) *Capacidad de diagnóstico ambiental*; y; (iii) *Capacidad de orientar la decisión ambiental*.

La aplicación del *modelo de umbrales ambientales* al caso de estudio planteado, ha favorecido una discusión sobre **la capacidad del modelo de cara a la comparación ambiental** de alternativas o intervenciones en la movilidad urbana. A la vista de los resultados obtenidos, la capacidad de comparación ambiental del *modelo* está caracterizada por tres aspectos:

- *Bidireccionalidad*. Tal y como se puede ver en la figura 7.2, la comparación de alternativas se ha realizado en una doble dirección, de lo ambiental a lo espacial. Por un lado, analizando los cambios ambientales para indicadores específicos a lo largo de todo el corredor. Por otro lado, enfocando la comparación sobre determinados tramos para el total de indicadores utilizados. La discusión de resultados realizada en el apartado 3.3 del capítulo 3, apartado 4.4 del capítulo 4 y apartado 5.4 del capítulo 5 ilustra la bidireccionalidad del modelo en el ejercicio comparativo.

Esta doble lectura comparada de los resultados, permite al usuario obtener análisis precisos en función de sus prioridades, que pueden estar centradas en valorar una problemática específica que afecta mayoritariamente a todo el corredor, para lo que sería de gran utilidad la capacidad del *modelo* para leer de forma comparada los cambios de cada indicador sobre el conjunto del corredor, o bien, tales prioridades se centran en resolver los problemas ambientales desde una perspectiva más integral para un conjunto específico de tramos, para lo que sería de mayor utilidad enfocar la comparación de alternativas desde la óptica de los tramos de interés (ver figura 7.2).

- *Multiescalaridad*. La aplicación del *modelo* al caso de estudio ha permitido analizar su capacidad para integrar escalas espaciales diferentes, que van desde la sección viaria del corredor hasta el entorno urbano inmediato o las principales transversales que interceptan con éste. La multiescalaridad del *modelo* permite conjugar aspectos relativos al planteamiento ambiental de alternativas, desde un enfoque integrado que ponga en relación estructura urbana y modos de viaje (ver figura 7.3).
- *Incremental*. Tal y como se puede ver en la figura 7.3, el *modelo* basa su funcionamiento en la comparación ambiental de alternativas desde una óptica incremental, donde los resultados de cada fase nutren a la siguiente. De este modo, a medida que se va avanzando en la aplicación del modelo y enriqueciendo las distintas variables que influyen en el proceso comparativo, se obtienen resultados más precisos sobre las ventajas e inconvenientes ambientales de las alternativas que se evalúan.

COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS. BIDIRECCIONALIDAD

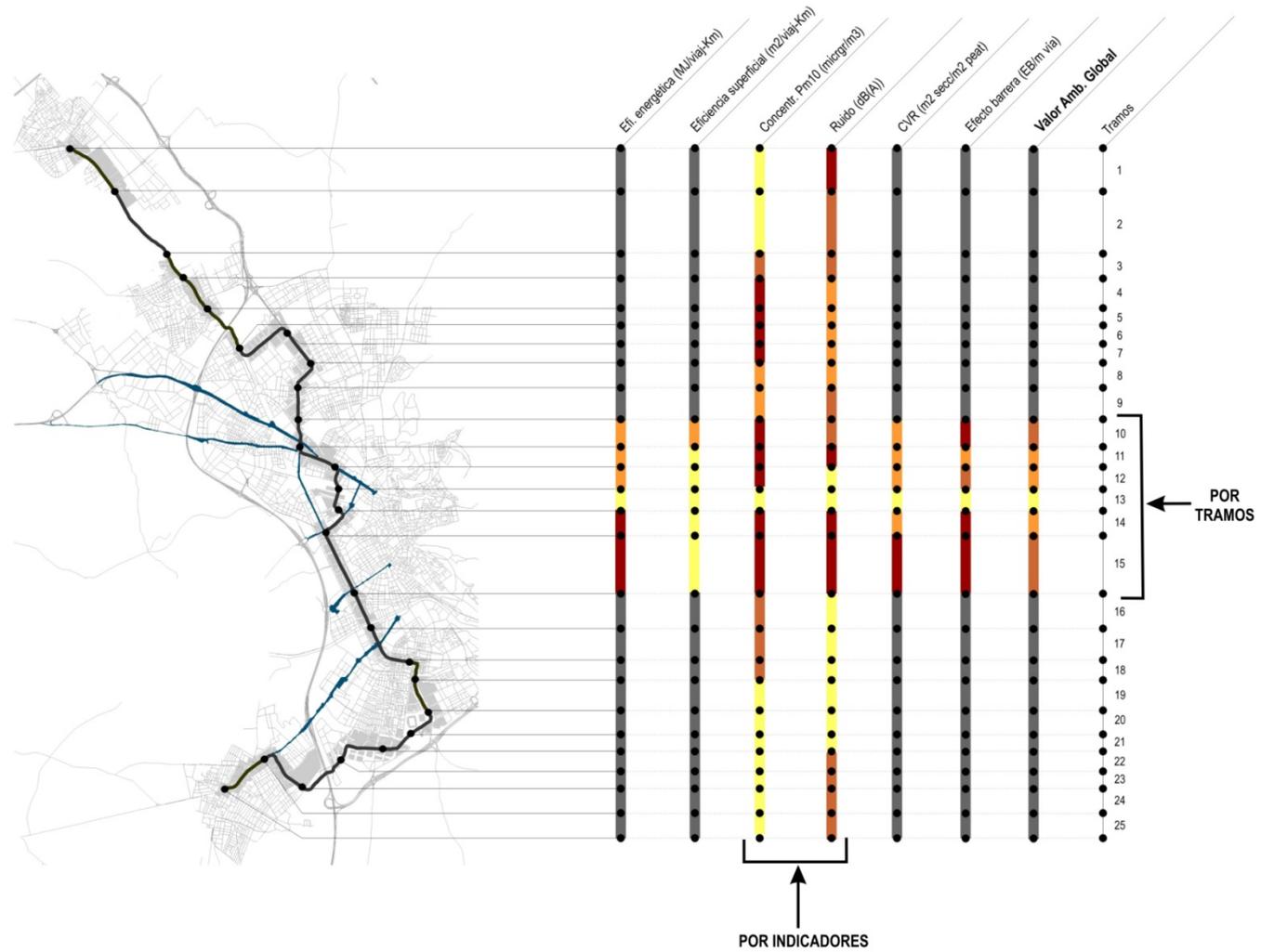


Figura 7.2. Componente bidireccional de la capacidad del *modelo de umbrales* para comparar alternativas. Fuente: elaboración propia

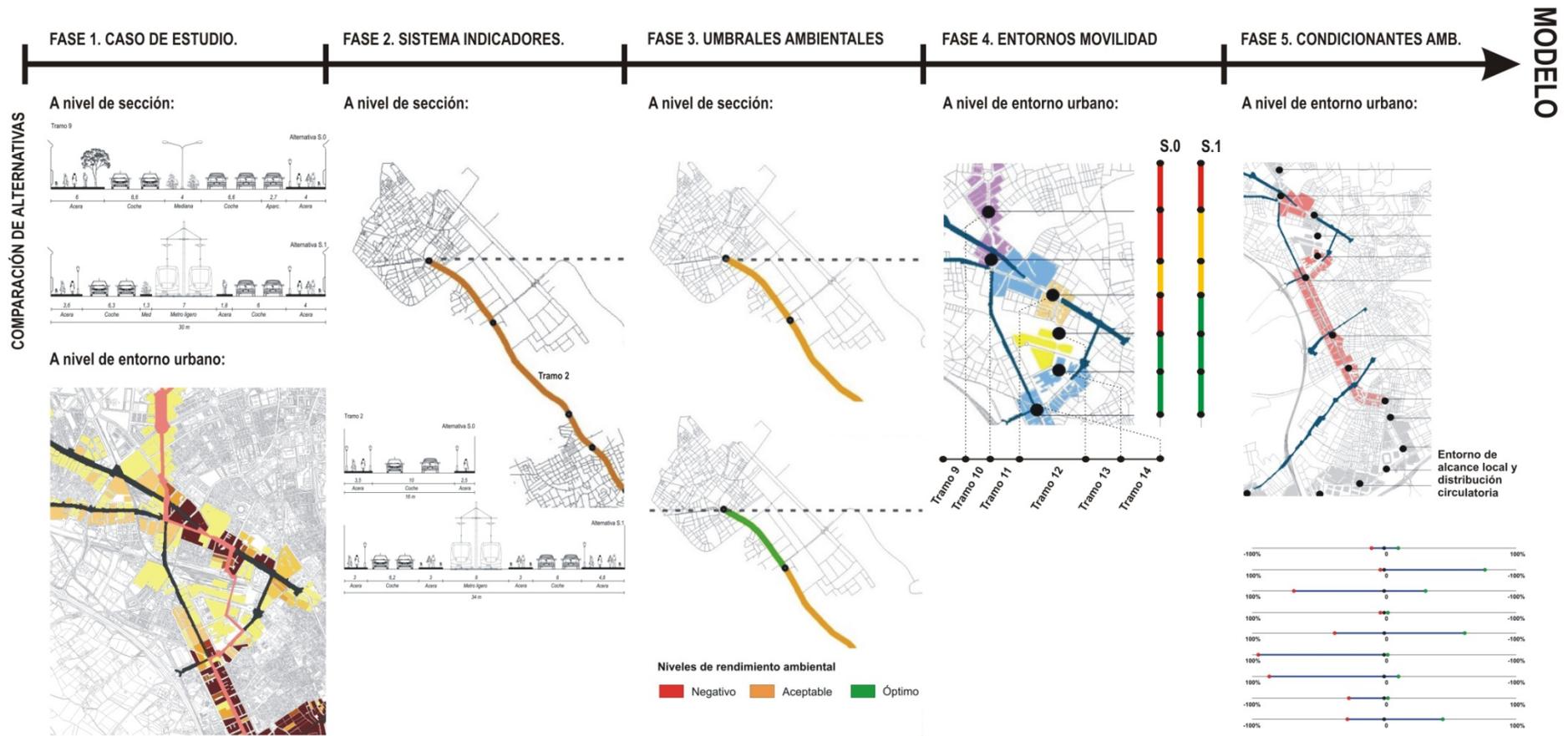


Figura 7.3. La multiescalaridad en las distintas fases de aplicación del *modelo de umbrales ambientales*. Fuente: elaboración propia.

Además de la comparación de alternativas, otra de las utilidades del *modelo de umbrales ambientales* reside en su **capacidad de diagnóstico ambiental**, caracterizado por los tres aspectos siguientes (figura X):

- *Cuantitativo*. De forma complementaria a otros instrumentos de evaluación ambiental que priorizan evaluaciones de tipo cualitativo, el *modelo* desarrollado propone una evaluación cuantitativa sobre la que implementar umbrales ambientales, de modo que se incremente la precisión de la evaluación realizada. Algunas de las principales ventajas del carácter cuantitativo de la evaluación residen en la normalización y agregación de resultados (ver apartado 3.3.4 del capítulo 3), la adopción de umbrales ambientales y definición de niveles de rendimiento ambiental (ver apartado 4.3 del capítulo 4), la comprensión de los resultados por parte de los diferentes usuarios del modelo, la universalidad de las medidas y su carácter exportable.
- *Rendimiento ambiental*. A diferencia de otros instrumentos de evaluación ambiental que valoran consecuencias ambientales de determinadas acciones, el *modelo* opta por evaluar la movilidad en términos de rendimiento. La idoneidad de esta cuestión reside en algunas características particulares de la movilidad respecto de otras intervenciones en el medio urbano, que están vinculadas a: (i) Su Carácter dinámico; (ii) Condicionada por factores externos (socioeconómicos, modales, etc.); (iii) Afecta a la globalidad e la ciudad; (iv) Sus efectos ambientales son fluctuantes.
- *Compensaciones ambientales*. Derivado del carácter cuantitativo del *modelo*, conjuntamente con su idoneidad para comparar alternativas, una de las principales características de su capacidad de diagnóstico se basa en poder establecer niveles de compensación ambiental entre alternativas. Esta particularidad es de gran utilidad para posibles usuarios del modelo, que en cada una de sus fases pueden extraer conclusiones sobre las compensaciones ambientales de cada una de las opciones que se valoran. Por ejemplo, la fase 2ª del *modelo* relativa al sistema de indicadores permiten analizar las compensaciones ambientales de cada alternativa en base a su capacidad de transformación urbanístico-ambiental del corredor (ver apartado 3.4, capítulo 3), la fase 3ª centra el análisis de las compensaciones ambientales de cada alternativa sobre la definición de niveles de rendimiento ambiental (ver apartados 4.2 y 4.3, capítulo 4), mientras que la fase 4ª pone relaciona posibles compensaciones ambientales con demandas de cada *entorno de movilidad* (ver apartado 5.4, capítulo 5).
- *Multiescalaridad y bidireccionalidad*. El diagnóstico ambiental se puede realizar a través de la valoración específica de determinados indicadores ambientales para el total del corredor o, por el contrario, seleccionando algunos tramos específicos y valorando el conjunto de indicadores ambientales utilizados (ver figura 7.2). Además, los resultados del *modelo* integran escalas de evaluación diferentes, que van desde la sección viaria del corredor hasta su entorno urbano inmediato (ver apartado 5.3 y 5.4, capítulo 5) (ver figura 7.4).

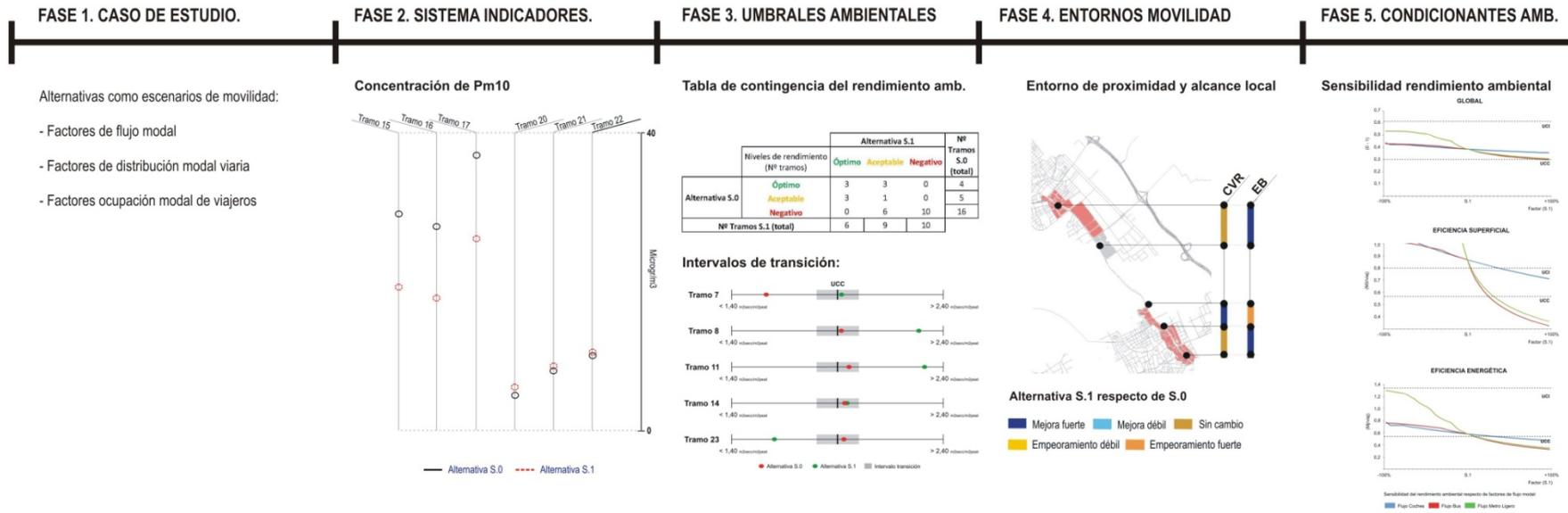


Figura 7.4. Fases del modelo y capacidad de diagnóstico ambiental. Fuente: elaboración propia

El último de los aspectos analizados en relación con la utilidad del *modelo* está vinculado con la **capacidad de orientar la decisión en un enfoque ambiental** que ofrece a sus posibles usuarios. Esta capacidad de orientar la decisión ambiental se caracteriza por las 3 cuestiones siguientes (figura 7.5):

- *Diseño viario y ordenación modal del corredor.* Los resultados del *modelo* pueden ayudar desde un punto de vista ambiental, en la toma de decisiones de cara al diseño viario del corredor y su ordenación modal, como consecuencia de la propuesta metodológica de los conceptos: *parámetros de saturación ambiental* o *rango de variación ambiental* (ver apartados 6.4.1.1 y 6.4.1.2, capítulo 6).
- *Diseño de estrategias integradas de movilidad.* Los resultados del *modelo* permiten conocer qué *factores* (flujo modal, ocupación de viajeros, etc.) son más influyentes en el rendimiento ambiental de cada alternativa evaluada (ver apartado 6.3, capítulo 6), siendo de ayuda para la elección de medidas que puedan formar parte de estrategias integradas de movilidad desde diferentes puntos de vista, por ejemplo: (i) *Medidas urbanístico-espaciales* relacionadas con la localización de actividades y la planificación de los distintos modos de acceso al corredor; (ii) *Medidas socioeconómicas* que fomenten el uso del transporte público por parte de los distintos usuarios del corredor; (iii) *Medidas modales* que incrementen el número de opciones y las posibilidades de usar distintos modos de transporte en el corredor.
- *Multiescalaridad.* Los conceptos metodológicos propuestos cuyos resultados sirven para ayudar a la toma de decisiones ambientales sobre el planteamiento de alternativas en el corredor (ver apartado 6.2, capítulo 6), alternan diferentes escalas de aproximación al caso de estudio, que van desde la sección viaria del corredor (por ejemplo el caso de los *valores de impacto de óptimo*, apartado 6.3, capítulo 6) hasta su entorno urbano inmediato (por ejemplo los casos de los parámetros de saturación ambiental y los rangos de variación ambiental, apartado 6.4, capítulo 6).

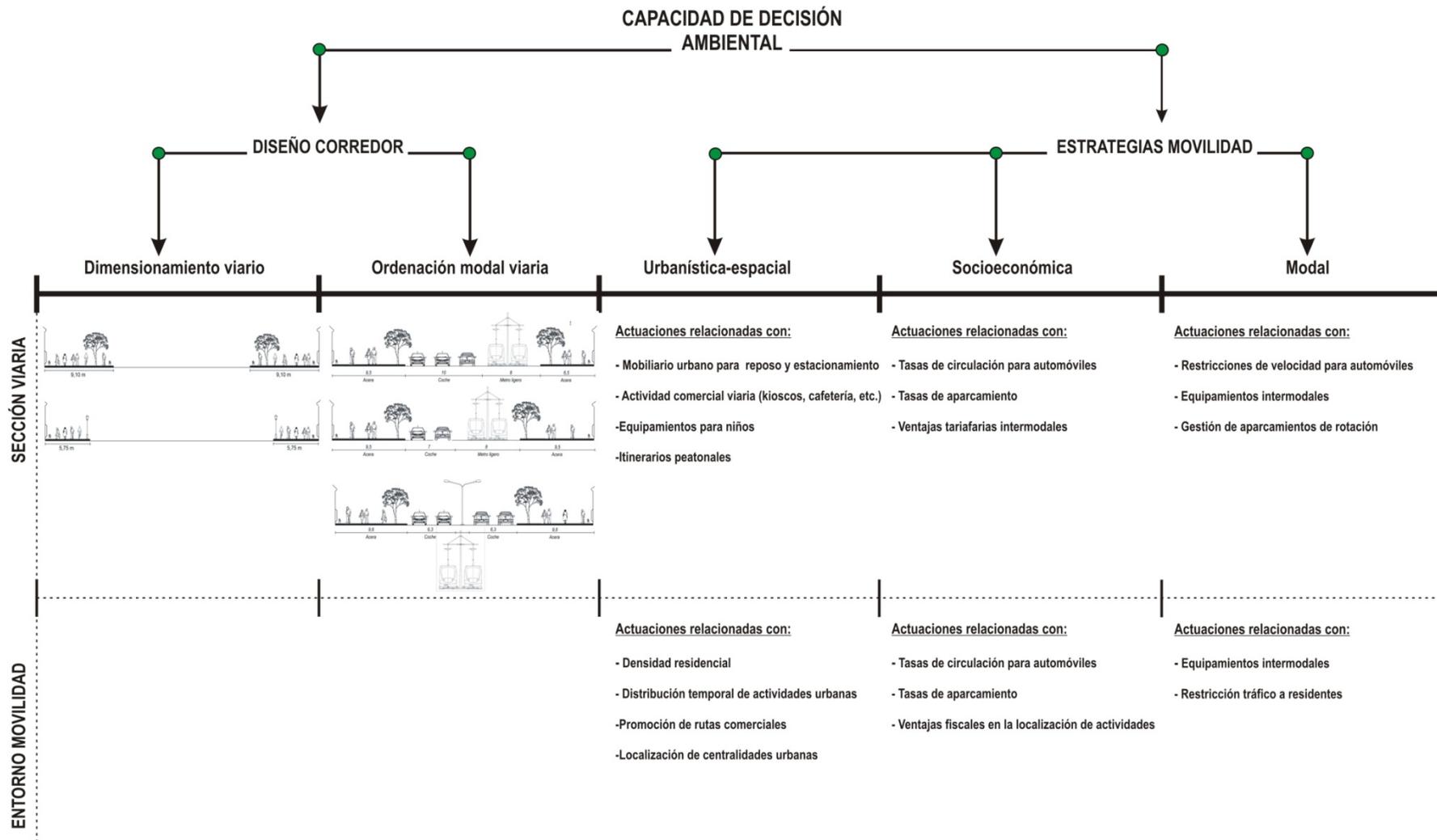


Figura 7.5. Modelo de umbrales y capacidad de orientar la decisión con un enfoque ambiental. Fuente: elaboración propia

7.4. Conclusiones

Los contenidos del capítulo se centran en exponer algunas de las principales características y utilidades del modelo como síntesis a su desarrollo y aplicación en capítulos anteriores. Desde este punto de vista, destacan los siguientes aspectos:

- La aplicación del modelo supone un proceso secuencial integrado por hasta 5 etapas, todas ellas caracterizadas por aportar matices e incorporar nuevas lecturas a la evaluación ambiental de las alternativas consideradas.
- El ejemplo de aplicación del *modelo de umbrales ambientales* a los tramos 8, 9 y 10 recogido en este capítulo, es ilustrativo de la riqueza de información que se puede obtener del *modelo* de cara a orientar una selección y planteamiento de alternativas que tienda a la sostenibilidad ambiental.
- La aplicación del modelo a lo largo de la investigación ha puesto de manifiesto una amplia capacidad de comparación ambiental de posibles alternativas, caracterizada fundamentalmente por tres aspectos: (i) Bidireccionalidad; (ii) Multiescalaridad; (iii) Incremental.
- Otro aspecto destacado en relación con la utilidad del *modelo* es su capacidad de diagnóstico ambiental, presente en las diferentes fases de aplicación y caracterizado por los siguientes 4 elementos: (i) Cuantitativo; (ii) Basado en el rendimiento ambiental; (iii) Centrado en las compensaciones ambientales entre alternativas; (iv) Multiescalar y bidireccional.
- El último elemento analizado en relación con el *modelo de umbrales* es la capacidad de orientar decisiones con un enfoque ambiental, especialmente vinculada con los contenidos desarrollados en el capítulo 6 del documento. La capacidad de decisión ambiental se caracteriza por: (i) Diseño y ordenación modal viaria del corredor; (ii) Diseño de estrategias integradas de movilidad; (iii) Multiescalar.

CAPÍTULO 8
CONCLUSIONES

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

ÍNDICE

8.1	Sobre las hipótesis y objetivos de la investigación	.....	410
8.2	Sobre la metodología de la investigación	.....	414
8.3	Sobre las aportaciones de la investigación	.....	417
8.4	Sobre la idoneidad del caso de estudio	.....	418
8.5	Sobre las limitaciones de la investigación	.....	419
8.6	Sobre las líneas de investigación futuras	.....	420

8.1. Sobre las hipótesis y objetivos de la investigación

Bajo el objetivo central de la investigación, relativo al desarrollo de un *modelo de evaluación de la movilidad urbana basado en umbrales ambientales*, subyacen hasta tres hipótesis diferentes y relacionadas entre sí. De forma resumida, tales hipótesis tienen que ver con (ver apartado 0.4 de la introducción general del trabajo):

- Explorar la idoneidad de evaluar la movilidad urbana en términos de rendimiento ambiental, estudiando las aportaciones derivadas de implementar umbrales ambientales en tales sistemas de evaluación, como método para optimizar su capacidad de diagnóstico y decisión.
- Profundizar sobre la espacialidad de la evaluación ambiental, como una de las dimensiones más operativas para la implementación efectiva de sistemas de evaluación.
- Demostrar que desarrollar conceptos y métodos para detectar qué factores son más influyentes en el rendimiento ambiental y no solo la valoración de sus consecuencias finales, significa incrementar la capacidad proactiva de la evaluación ambiental.

En relación con la primera de las hipótesis, cabría señalar que la naturaleza particular de la movilidad en el medio urbano, entendiendo ésta como un sistema dinámico en constante cambio, condicionado por factores externos (urbanos, sociales o económicos) y con consecuencias ambientales que mayoritariamente suelen ser reversibles y fluctuantes (con excepción de las relacionadas con la construcción de nuevas infraestructuras), ha provocado la proliferación de estudios e informes orientados a evaluar la movilidad más como proceso y, por lo tanto, a partir del concepto de rendimiento y no como objeto a partir de la idea de impacto ambiental (Perybrune 2000) (ODOT 2007), (López 2007) (Vtrans 2008) (Litman, 2009). El **modelo de umbrales ambientales** basa su diseño sobre la idea de la evaluación del rendimiento ambiental de la movilidad urbana, desde una definición próxima a De Borger *et al* (2004), que entiende tales sistemas de evaluación **como una medida que abarca una visión de los diferentes aspectos que pueden ser tenidos en cuenta en el funcionamiento de un sistema determinado**. Para ello, la evaluación se ha conceptualizado sobre la idea de tres bloques representativos del funcionamiento ambiental de corredores de movilidad urbana: **(i) Uso de energía y otros recursos; (ii) Emisión de residuos; (iii) Uso modal viario**.

Las principales ventajas detectadas a la hora de evaluar la movilidad desde este punto de vista son:

- La mayor capacidad de diagnóstico ambiental que deriva de la propia **capacidad del sistema de evaluación para mostrar lecturas parciales, bien por indicador o bloques de indicadores, o bien lecturas agregadas para la totalidad del sistema**. Ver figuras 3.31 y 3.32 del capítulo 3.

- Los resultados permiten **relacionar capacidad transformadora de las distintas alternativas con eficacia y eficiencia ambiental del escenario de movilidad planteado por ellas**, lo que facilita analizar las posibles compensaciones existentes entre las alternativas evaluadas. Algunos ejemplos destacables de esta cuestión se pueden consultar en los apartados 3.3.2 relativos a los indicadores de emisión de residuos (ver figuras 3.16 y 3.19), conjuntamente con el apartado 3.3.3 relativo a indicadores de uso modal viario (ver figura 2.25).

Sobre el sistema de evaluación sintetizado y en consonancia con la primera de las hipótesis, el trabajo explora las ventajas y dificultades de implementar umbrales ambientales como procedimiento para optimizar tales sistemas de evaluación del rendimiento. Para ello, se ha propuesto el diseño de dos umbrales ambientales por indicador, uno de calidad (UCC) y otro de impacto (UCI), capaces de delimitar tres posibles niveles de rendimiento (i) Rendimiento óptimo; (ii) Rendimiento aceptable; (iii) Rendimiento negativo. Se han detectado como aportaciones más evidentes de los umbrales ambientales las siguientes:

- **Incrementan la capacidad del modelo como instrumento de comparación y diagnóstico de alternativas, consecuencia de la mayor precisión a la hora de medir la eficacia y eficiencia ambiental de la movilidad.** Indicadores como la emisión de ruido (ver apartado 4.4.2.2 y figura 4.25) o el coeficiente viario de reparto (ver apartado 4.4.3.1 y figura 4.30) son ejemplos representativos de la mayor precisión que alcanza la comparación de alternativas al incorporar umbrales ambientales en su evaluación.
- **Permiten extender el grado de alcance de los sistemas de evaluación** desde el diagnóstico ambiental, hasta el conocimiento pormenorizado de qué factores son los responsables de un determinado nivel de rendimiento, lo que refuerza al modelo como instrumento de decisión. Ver apartado 6.2 relativo al método propuesto para estudiar los *condicionantes ambientales del corredor*.

La **segunda de las hipótesis** está centrada en analizar la espacialidad de la evaluación ambiental como una de las dimensiones más operativas en la implementación efectiva de sistemas de evaluación. Para ello, se han identificado a lo largo del corredor hasta 5 *entornos de movilidad* como unidades espaciales operativas sobre las que analizar el rendimiento ambiental de cada alternativa (ver apartado 5.3.3, capítulo 5). Específicamente, **el entorno de movilidad ha sido definido como aquella unidad espacial para la evaluación ambiental, resultante de una valoración integrada de factores de la estructura urbana y de los modos de viaje** (ver apartado 1.2.3, capítulo 1). A la vista de los resultados obtenidos (ver apartado 5.4, capítulo 5), parece fundamental especializar las medidas de rendimiento ambiental, resultando de gran utilidad para ello, la propuesta conceptual de *entornos de movilidad*. Las principales razones que avalan esta cuestión son las siguientes:

- Al representar espacialmente los resultados de cada indicador y de sus umbrales ambientales sobre unidades homogéneas a lo largo del corredor (*entornos de movilidad*), **se han obtenido nuevas lecturas sobre los resultados de rendimiento ambiental, que en la mayor parte de casos, han servido para ahondar sobre la comparación ambiental, incrementando su grado de precisión.** Un ejemplo a destacar en este sentido, son los indicadores coeficiente viario de reparto y efecto barrera. Ambos indicadores experimentan una mejora en sus niveles de rendimiento ambiental en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 (ver apartados 4.4.3.1 y 4.4.3.2., capítulo 4), ahora bien, esta mejora difícilmente ocurre en aquellos lugares del corredor cuyas características urbanísticas y de la movilidad demandan como prioritario una mejora de tales indicadores (ver apartados 5.5.3.1 y 5.5.3.2, capítulo 5).
- Orientar la evaluación ambiental sobre unidades espaciales ha permitido **canalizar de una forma operativa, el análisis de los factores influyentes o determinantes del rendimiento ambiental del corredor, así como, generar pautas de actuación encaminadas a optimizar la alternativa seleccionada en función de las demandas urbanísticas y de la movilidad de cada unidad espacial.** Consultar apartado 6.4 del capítulo 6 relativo a la propuesta y desarrollo de parámetros de diagnóstico para cada *entorno de movilidad*.
- **La propuesta de entornos de movilidad** como unidades espaciales para la evaluación, **ha resultado de gran idoneidad para los objetivos del trabajo** por diferentes razones. En primer lugar, **su definición a partir de una valoración integrada de elementos de la estructura urbana y de los modos de viaje, supone incorporar al modelo de umbrales ambientales una perspectiva integrada de la movilidad y el transporte,** acercando a éste a una aproximación vinculadas a modelos de gestión de la demanda. En segundo lugar, **los factores utilizados en su definición e identificación han mostrado una riqueza de casuísticas representativa de las características urbanísticas y de movilidad del corredor, a la vez que de utilidad para establecer las demandas ambientales más prioritarias de cada entorno de movilidad,** lo que retroalimenta la propia evaluación (ver apartado 5.5, capítulo 5).

La tercera y última de las hipótesis que sostiene esta investigación es relativa a demostrar la necesidad de desarrollar conceptos y métodos capaces de analizar qué factores son más influyentes en el rendimiento ambiental, como medio para hacer de tales sistemas de evaluación instrumentos más proactivos. Para ello, en este trabajo se ha propuesto, desarrollado y aplicado diferentes conceptos cuya principales contribuciones son las siguientes (ver apartado 6.2, capítulo 6):

- Conocer a qué *factores* es más sensible el rendimiento ambiental de la movilidad urbana en cada una de las alternativas que se evalúan.
- Conocer en qué alternativas existe una capacidad mayor para asumir alteraciones de tales *factores*, sin que esto tenga consecuencias graves sobre los niveles de rendimiento ambiental.

- Orientar posibles alteraciones de una alternativa en base a la influencia que ejercen sus *factores* en el rendimiento ambiental.

Los **resultados obtenidos reflejan un aumento del carácter proactivo del *modelo de umbrales ambientales*, consecuencia de la capacidad que ofrecen los conceptos y métodos desarrollados en su capítulo 6, para interactuar con otras componentes de la movilidad que puedan condicionar el planteamiento de las diferentes alternativas que se evalúan.** Esta cuestión supone un avance importante respecto de sistemas de evaluación más clásicos, cuyos métodos se basan casi en exclusiva en la valoración de las consecuencias ambientales finales de una determinada actividad o proyecto, a la vez que favorecen la integración de la componente ambiental de la movilidad entre otros elementos también determinantes en la movilidad urbana y el propio planteamiento de alternativas como, por ejemplo, variables urbanísticas, sociales, económicas, modales, tecnológicas, etc.

Dejando a un lado las hipótesis de la investigación, en relación con los objetivos establecidos al inicio del trabajo se pueden concluir los siguientes aspectos:

- Respecto del primero de los objetivos relativo a **caracterizar el estado del conocimiento sobre el planteamiento general de la investigación**, en el capítulo 1 se realiza una **revisión bibliográfica de los trabajos más relevantes relacionados con la movilidad urbana**, que han servido para diseñar la arquitectura del *modelo de umbrales ambientales*. De esta forma, **la caracterización del conocimiento sobre el planteamiento de la investigación se ha apoyado sobre los tres pilares siguientes: (i) La dimensión ambiental de la movilidad urbana** como argumento de fondo (ver apartado 1.2); (ii) **La evaluación ambiental de la movilidad urbana** como argumento motor (ver apartado 1.3); (iii) **La integración ambiental-urbana de los sistemas de metro ligero** como argumento de contexto (ver apartado 1.4).
- **Diseñar y aplicar un sistema de indicadores para evaluar el rendimiento ambiental de la movilidad urbana** es el segundo de los objetivos establecidos en el trabajo. El capítulo 3 aborda su consecución, a través de **la selección y diseño de indicadores** orientados a evaluar el funcionamiento ambiental de la movilidad del corredor en términos de rendimiento, **tomando como referencia los tres bloques siguientes: (i) Uso de energía y otros recursos; (ii) Emisión de residuos; (iii) Uso modal viario.** Para cada uno de estos bloques se han diseñado dos indicadores: (i) La eficiencia superficial y eficiencia energética de la movilidad para el bloque relacionado con el uso de energía y otros recursos; (ii) La concentración de PM₁₀ y la emisión de ruido para el bloque relacionado con la emisión de residuos. (iii) El coeficiente viario de reparto y el efecto barrera para el bloque relacionado con el uso modal viario. Finalmente, a través de técnicas multicriterio se ha obtenido un valor agregado final.

- El tercero de los objetivos hace referencia a **avanzar en el diseño de procedimientos para la estimación de umbrales de tendencia ambiental**. A lo largo del capítulo 4 se profundiza sobre esta cuestión. **Específicamente se ha propuesto el diseño de dos umbrales ambientales para cada uno de los indicadores que conforman el sistema de evaluación**. El primero hace referencia a un valor mínimo u óptimo para cada indicador, por debajo del cual, las consecuencias ambientales derivadas de la movilidad en el corredor serían muy bajas o prácticamente nulas (**Umbral Crítico de Calidad. UCC**). El segundo hace referencia a un valor máximo para cada indicador, por encima del cual, las consecuencias ambientales en el corredor serían graves (**Umbral Crítico de Impacto. UCI**).
- El cuarto de los objetivos aborda el desarrollo de **avances conceptuales y metodológicos en el estudio de la relación entre estructura urbana y los modos de viaje**. El capítulo 5 se ocupa de este objetivo desde **la propuesta del concepto de entorno de movilidad. Para la identificación de entornos de movilidad se ha utilizado elementos relativos a la estructura urbana y a los modos de viaje**. El estudio de la estructura urbana se ha realizado a partir de: (i) Densidad residencial; (ii) La diversidad e intensidad de actividades urbanas; (iii) La cobertura temporal diaria de actividades urbanas. El estudio de los modos de viaje se ha realizado a partir de: (i) Flujos de tráfico rodado y actividades urbanas del corredor; (ii) Influencia de vías transversales sobre el corredor.
- El último de los objetivos establecidos hace referencia al **desarrollo de conceptos y métodos para analizar la sensibilidad del rendimiento ambiental a factores vinculados a la movilidad urbana**. El capítulo 6 se ocupa de la consecución de este objetivo, realizando un análisis de sensibilidad del rendimiento ambiental, del que se deriva la propuesta de los siguientes conceptos: (i) Valores de impacto y de óptimo de cada factor; (ii) Parámetros de saturación ambiental; (iii) Rangos de variación ambiental; (iv) Capacidad de absorción y de mejora de cada *entorno de movilidad*.

8.2. Sobre la metodología de la investigación

En la introducción general se exponen cuatro líneas metodológicas sobre las que estructurar el trabajo:

- Comparación ambiental de alternativas
- Evaluación del rendimiento ambiental y definición de niveles umbrales
- La evaluación ambiental desde una dimensión integrada de la estructura urbana y los modos de viaje
- Sensibilidad del rendimiento ambiental a factores vinculados a la movilidad urbana

Respecto de **la primera de las líneas metodológicas relacionadas con la comparación ambiental de alternativas**, a lo largo del trabajo se han planteado dos posibles alternativas para el caso de estudio. Por un lado, **la alternativa S.0 propone mantener el corredor con las características de éste para el año 2008. Por otro lado, la alternativa S.1 propone reordenar el corredor a nivel viario y de sus sistemas de transporte implantando un sistema de metro ligero.** Durante el trabajo se ha comprobado que la utilidad de usar la comparación de alternativas como método de trabajo y de representación de resultados reside en:

- **Comprobar una de las características centrales del *modelo de umbrales ambientales*, que precisamente está vinculada a la evaluación ambiental de alternativas** (ver apartado 0.2 de la introducción general). El hecho de analizar constantemente las “compensaciones ambientales” existentes entre las dos alternativas evaluadas, **ha permitido detectar la alta capacidad que tiene el modelo de umbrales en sus distintas fases, para ser sensible a las características particulares de las dos alternativas planteadas.** Ver apartados 3.3 (capítulo 3), 4.4 (capítulo 4) y 5.4 (capítulo 5).
- El hecho de trabajar con varias alternativas **incrementa notablemente la diversidad de casuísticas posibles para los diferentes tramos del corredor**, tanto a nivel ambiental como urbanístico. Esto hace que el ***modelo de umbrales ambientales se haya aplicado hasta en 50 secciones viarias diferentes para el corredor, lo que es sintomático de su versatilidad y capacidad de adaptación a situaciones diferentes dentro de un mismo contexto.***

La segunda de las líneas metodológicas está relacionada con **la evaluación del rendimiento ambiental y la definición de umbrales ambientales.** De ellas se pueden concluir los siguientes aspectos:

- Tal y como se ha expuesto con anterioridad, la evaluación del rendimiento ambiental de cada alternativa se ha realizado a través de seis indicadores, agrupados en tres posibles bloques (uso de energía y otros recursos, emisión de residuos y uso modal viario). **El método ha resultado idóneo para el desarrollo de los objetivos fijados en la investigación, consecuencia especialmente de las siguientes cuestiones: (i) Los indicadores seleccionados informan sobre la tendencia ambiental de cada alternativa y no sobre sus consecuencias ambientales** (ver apartado 4.4, capítulo 4); **(ii) Los resultados obtenidos ponen en relación capacidad transformadora y compensación ambiental de cada alternativa** (ver apartado 3.3, capítulo 3); **(iii) Los indicadores son específicos y adaptados al caso de estudio a diferencia de sistemas de monitorización ambiental.** (ver apartado 3.2, capítulo 3).
- Para obtener un valor agregado o de conjunto se ha procedido a utilizar técnicas multicriterio, basadas en la asignación de pesos específicos a cada uno de los indicadores que conforman el sistema de indicadores, conjuntamente con un proceso de normalización de sus resultados (ver apartado 3.2.2, capítulo 3).

- Los valores ponderados de cada indicador se han estimado a partir de la realización de **un panel de expertos y actores locales, que ha contado con 50 participantes. Las principales ventajas encontradas a este método están vinculadas a:** (i) **Introducir métodos de consulta en sistemas de evaluación del rendimiento ambiental**, hasta el momento poco utilizados; (ii) **Método sencillo** cuyos resultados tienen una **implementación directa en la evaluación**; (iii) **Método flexible** que permite aglutinar el conocimiento de profesionales vinculados a la problemática a tratar. Algunas de las **principales limitaciones de utilizar paneles de expertos** tienen que ver con: (i) **Cuidadosa elección de los participantes**; (ii) **Formular cuestiones de una forma clara y orientada a los resultados posteriores** que se van a obtener.
- La estimación de umbrales ambientales para cada indicador se ha desarrollado bajo el siguiente procedimiento. **En el caso de que los resultados del indicador tengan algún tipo de regulación normativa a nivel europeo, estatal o regional** (casos de la eficiencia energética, concentración de PM₁₀ y emisión de ruido), **se han seleccionado los valores dispuestos en dicha normativa como umbrales ambientales**. En el caso de que los resultados del indicador no tengan ningún tipo de regulación normativa (casos de la eficiencia superficial, coeficiente viario de reparto y efecto barrera) **sus valores umbrales se han estimado a partir de la propuesta de dos tramos tipo para el corredor, uno de calidad y otro de impacto** (ver figura 4.4, capítulo 4).
- La principal ventaja de adoptar umbrales ambientales a partir de la regulación normativa, se debe a que son valores aceptados tanto por la comunidad científica como por la sociedad. Su desventaja principal está vinculada a que no en todos los casos tienen la especificidad suficiente que requiere su aplicación a un caso de estudio concreto (véase el ejemplo de la eficiencia energética de la movilidad urbana en el apartado 4.3.1.1, capítulo 4).
- En cuanto a los umbrales ambientales estimados a partir del diseño de dos tramos tipo, uno de calidad y otro de impacto, su principal ventaja reside en que son específicamente calculados para el caso de estudio donde se aplican, mientras que su mayor desventaja está vinculada a que no necesariamente tienen la aceptación de los distintos agentes implicados (ver apartado 4.3.2).

La **tercera línea metodológica** sobre la que se estructura el trabajo está relacionada con la evaluación del rendimiento ambiental desde una dimensión integrada de la estructura urbana y los modos de viaje. **El método empleado para solventar esta cuestión se ha basado en la propuesta del concepto de *entorno de movilidad* como unidad espacial operativa para la evaluación**. Algunas de las principales conclusiones necesarias de destacar son:

- **Los entornos de movilidad han sido definidos a partir del estudio de elementos de la estructura urbana y de los modos de viaje**, a través de un proceso secuencial que puede consultarse en la figura 5.4, capítulo 5.

- Una de las **principales dificultades metodológicas** ha residido en la **definición de demandas ambientales específicas** para cada uno de los *entornos de movilidad*, que han estado basados en las **características específicas de tales entornos**, en relación con los **vectores de movilidad utilizados en su definición** (Dimensión local del medio urbano, tránsito urbano y especialización urbana). La tabla 5.20 (capítulo 5) expone una síntesis de las demandas ambientales del corredor en cada *entorno de movilidad*.

La **cuarta y última línea metodológica** está relacionada con la sensibilidad del rendimiento ambiental a factores vinculados a la movilidad urbana. Tal y como se puede ver en el capítulo 6, **se ha realizado un análisis de sensibilidad que permite conocer como varía el rendimiento ambiental de cada alternativa cuando se altera un factor con incidencia sobre éste** (ver figura 6.3, capítulo 6). Algunas de las principales conclusiones obtenidas son:

- **El método ha sido sensible a los diferentes factores utilizados en el capítulo** (factores de distribución modal viaria, flujo modal y ocupación modal de viajeros), permitiendo calcular para cada uno de ellos, **un valor de impacto, equivalente al valor del factor que haría que el rendimiento ambiental alcance el UCI, junto a un valor de óptimo, equivalente al valor del factor que haría que el rendimiento ambiental alcance el UCC.**
- **El método ha mostrado ser de utilidad para conocer qué factores limitan el rendimiento ambiental del corredor en sentido positivo y negativo para éste** (ver apartado 6.4.1.1, capítulo 6), **cuál es el margen de variación de los diferentes factores en cada alternativa** (apartado 6.4.1.2, capítulo 6) y, finalmente, **permite profundizar en la comparación ambiental de alternativas a nivel de cada entorno de movilidad** (ver apartado 6.4.2, capítulo 6).

8.3. Sobre las aportaciones realizadas

Respecto del sistema de indicadores:

- A diferencia de la mayor parte de los sistemas de evaluación del rendimiento ambiental consultados, una de las principales aportaciones de la investigación reside en **la incorporación de métodos de consulta** (ver apartado 1.3.2, capítulo 1), **en este caso a través de un panel de expertos y actores locales** (ver apartado 3.3.4, capítulo 3). **El trabajo muestra una evidente complementariedad entre los sistemas de consulta y el desarrollo de sistemas de evaluación ambiental**, dejando abiertos diferentes focos de progreso que serán comentados en el apartado relativo a líneas de investigación futuras (apartado 7.6).
- La principal aportación relacionada con el sistema de indicadores reside en la **adopción de umbrales ambientales, que no solo son usados desde la perspectiva de delimitar diferentes niveles de rendimiento, sino que son utilizados como base para el desarrollo de conceptos de ayuda a la decisión ambiental** (ver capítulo 6), lo que refuerza el carácter proactivo del modelo propuesto.

Respecto de la adopción de umbrales ambientales:

- El trabajo realiza una **revisión normativa orientada a la evaluación ambiental**, dando una serie de pautas sobre la adopción de umbrales ambientales a partir de estas fuentes normativas (ver apartado 4.3.1, capítulo 4).
- Se diseña un **procedimiento con vocación exportable para estimar umbrales ambientales en aquellos indicadores que no son regulados a nivel normativo**. En este caso, la principal contribución se centra en la **revisión, adaptación y propuesta de estándares de diseño viario y tratamiento de información estadística para la adopción de umbrales de calidad y de impacto** (ver apartado 4.3.2, capítulo 4).

Respecto de la espacialidad de la evaluación ambiental:

- La principal contribución del trabajo reside en **dotar al modelo de umbrales ambientales de una componente espacial como una parte más de la evaluación, basada en la relación entre estructura urbana y los modos de viaje**, otorgando al *modelo* una aproximación cercana a planteamientos orientados a la gestión de la demanda.
- En relación con lo anterior, **dicha componente espacial es canalizada a través de la propuesta del concepto de entorno de movilidad como unidad espacial operativa para la evaluación ambiental, proponiendo y aplicando un proceso metodológico para la identificación de entornos de movilidad y su papel en la evaluación de la movilidad urbana**.

Respecto del desarrollo de conceptos de decisión ambiental:

- A diferencia de los sistemas de evaluación ambiental consultados, la principal aportación de la investigación reside en la **propuesta, desarrollo y aplicación de conceptos de ayuda a la decisión ambiental, lo que refuerza el carácter proactivo del modelo de umbrales desarrollado** (ver capítulo 6).
- A nivel metodológico, el desarrollo de tales conceptos de decisión **ha supuesto la adaptación de análisis de sensibilidad ambiental al campo de la movilidad urbana**, abriendo nuevas líneas de investigación sobre las que se profundizará en el apartado 7.6.

8.4. Sobre la idoneidad del caso de estudio

El caso de estudio seleccionado para desarrollar y validar el *modelo de umbrales ambientales* ha sido un corredor de movilidad en el área metropolitana de Granada. A lo largo del trabajo se han detectado varios aspectos que informan sobre la idoneidad de este caso de estudio:

- Los resultados obtenidos muestran que las **dos alternativas planteadas para el corredor ilustran dos enfoques diferentes desde un punto de vista ambiental, por lo que son de gran idoneidad para evaluar la sensibilidad del *modelo de umbrales* en este sentido** (ver apartado 3.3, capítulo 3 y apartado 4.4, capítulo 4).
- Igualmente, **la división del corredor en 25 tramos y el planteamiento de dos alternativas posibles tiene como resultado la aplicación del modelo hasta en 50 secciones viarias diferentes, como prueba de su versatilidad y adaptación** (ver figura 0.3 en la introducción general).
- **La diversidad de tejidos urbanos a lo largo del corredor hace que sea de gran utilidad para comprobar la idoneidad del modelo en la definición de *entornos de movilidad* y la evaluación posterior de su rendimiento ambiental.** Esa diversidad de tejidos urbanos se recoge en la figura 0.4 en la introducción general.

8.5. Sobre las limitaciones de la investigación

- **En ningún caso el *modelo de umbrales ambientales* pretende evaluar la tendencia sostenible de la movilidad desde una perspectiva integral de ésta (social, económica y ambiental).** Su alcance está **centrado exclusivamente en la componente ambiental de la movilidad urbana**, por lo que una posible vía de mejora pasaría por ampliar el grado de alcance del modelo a otras dimensiones de la sostenibilidad que no han sido tratadas en la investigación.
- Aunque a la vista de los resultados obtenidos, las dos alternativas planteadas para el corredor muestran un grado de idoneidad suficiente para alcanzar los objetivos establecidos en la investigación, **el planteamiento de nuevas alternativas que complementen a las anteriores, por ejemplo, a través de la propuesta de nuevos sistemas de transporte público en lugar del metro ligero (por ejemplo BRT), podría servir para profundizar en las prestaciones y garantías del *modelo de umbrales ambientales*.**
- Las características del corredor conjuntamente con la información disponible, ha condicionado la selección y diseño de indicadores. De cara a la posible mejora del *modelo de umbrales* o aplicaciones derivadas de éste, **manejar baterías más amplias de indicadores, analizando su grado complementariedad como paso previo a la aplicación del *modelo*, sería un aspecto que ayudaría a mejorar la evaluación realizada.**
- Para cada *entorno de movilidad* se han establecido una serie de demandas ambientales interpretando sus características particulares a nivel urbanístico y de la movilidad. **Posibles mejoras del *modelo de umbrales* pasa por dotar a esta etapa de la evaluación de métodos de consulta a expertos o agentes implicados en el proceso de la planificación, que orienten qué demandas ambientales son más relevantes en cada *entorno de movilidad*.**

- En la definición de *entornos de movilidad* se ha utilizado un ámbito urbano de 250 m en torno al corredor, como resultado de las fuentes de información disponibles y el trabajo de campo realizado (ver capítulo 2). **Optimizar la identificación de *entornos de movilidad* pasa por adecuar el ámbito urbano al grado de alcance del modo de transporte que se está analizando en cada momento.**
- Posibles **mejoras del análisis de sensibilidad pasan por calibrar en base a experiencias, la influencia que tienen unos *factores* de la movilidad urbana sobre otros**, lo puede ayudar a ganar en precisión sobre sus posibles efectos en el rendimiento ambiental de la movilidad.

8.6. Sobre las líneas de investigación futuras

- Estudiar y analizar la implementación del *modelo de umbrales ambientales* dentro del sistema de planificación y respecto de sus posibles usuarios, determinando factores de éxito para su uso, así como, su contribución operativa a una planificación de la movilidad urbana que tienda a la sostenibilidad ambiental.
- Optimizar el *modelo de umbrales ambientales* dotando a éste de los instrumentos de evaluación que abarquen no solo la dimensión ambiental de la sostenibilidad, sino también su dimensión social y económica.
- Profundizar sobre la utilidad de los métodos de consulta como herramienta para la evaluación y planificación de la movilidad urbana.
- Optimizar la definición e identificación de *entornos de movilidad*, incorporando variables del comportamiento de viaje por parte de los ciudadanos, profundizando sobre la utilidad del concepto en la construcción de escenario de movilidad más sostenibles.
- Explorar las posibilidades de mejora de los análisis de sensibilidad ambiental para la evaluación de la movilidad urbana, enriqueciendo sus resultados a partir de factores utilizados en la definición de *entornos de movilidad*, como medio para avanzar en el diseño de instrumentos enmarcados en la gestión de la demanda de desplazamientos.

CHAPTER 9
INTRODUCTION AND CONCLUSIONS

CHAPTER 9. INTRODUCTION AND CONCLUSION

INDEX

9.1	Introduction	.....	423
9.1.1	Background	.....	423
9.1.2	Research topic	.....	423
9.1.3	Study case	.....	426
9.1.4	Hypothesis	.....	427
9.1.5	Objectives	.....	428
9.1.6	Document structure	.....	428
9.2	Conclusions	.....	430
9.2.1	Hypothesis	.....	430
9.2.2	Methodology	.....	434
9.2.3	The advances of research	.....	436
9.2.4	The suitability of study case	.....	438
9.2.5	The limitations of research	.....	438
9.2.6	Future research topics	.....	439

9.1. Introduction

9.1.1 Background

The sustainable mobility paradigm can be understood as reflection process at institutional and academic level. The main objective of this paradigm is focused on how urban mobility could become more efficient (Banister, 2008).

After some relevant report in the 60s (Buchanan, 1963), a great number of researches have been published in order to promote new mobility planning and assessment approaches, especially, as a consequence of growing car use (Dupuy, 1999) (Newman y Kenworthy, 1999).

During 90s, different planning approaches are consolidated, all of them based on 'demand management' instead of classic 'predict and provide' approach (Goodwin *et al*, 1991) (May, 1991) (Banister y Button, 1992) (Owens, 1995) (Marvin y Guy, 1997) (Stead, 2010). These alternative approaches can be classified in: (i) Urban planning measures; (ii) Fiscal and regulatory measures; (iii) Technological transport measures. The main objectives of 'demand management' are focused on the reduction of car travels, the increment of modal offer and the urban activities location. For this reason, it is thought that this mobility planning approach is ideal for promoting a more sustainable urban mobility (May, 2006) (Litman, 2009).

The interesting topics of this research are based on the role of urban planning and urban structure as elements for travels management. Some examples close to this research are: Edwin y Cervero (2001), Cervero y Kockleman (1997), Geurs (2000), Priemus *et al* (2001), Cervero (2002), Song y Knaap (2004) y Naess (2006).

In this context, the implementation of 'demand management' instruments needs assessment methods which analyze if urban mobility is oriented to sustainability (Litman, 2009). This situation has originated the appearance of sustainability indicators in this area (EC, 2009) (EUROSTAT, 2009) (EEA, 2009) (OECD, 2008a) (OECD, 2008b), most of them aimed to measure the environmental performance of mobility (Peyrebrune, 2000) (Gudmundsson, 2001) (Ricci *et al.*, 2010).

For these reasons, it could be necessary to develop proactive tools for environmental assessment of urban mobility, which are focused on the environmental performance evaluation from integrated perspective between land use and transport.

9.1.2 Research Topic

The main objective of research is the **proposal, development and application of model for urban mobility evaluation based on environmental thresholds** (*environmental thresholds model*). The characteristics of *model* are:

- *Comparison and selection of alternatives*: the model has a great capacity for environmental comparison of mobility alternatives (For example: corridor design, implementation of new public transport system, etc.) (See more information in chapters 3, 4 and 5).

- *Environmental performance measures* instead of classic environmental impact measures (see chapter 3).
- *Quantitative evaluation* as a complementary instrument for classic environmental assessment which are essentially qualitative.
- *Evaluation based on environmental thresholds* which inform about the sustainable trends of urban mobility (see chapter 4).
- *Integrated evaluation between land use and travel patterns*. The results of model will be represented on spatial unit named *mobility environments*, which are defined with factors of land use and travel pattern.
- *Proactive approach* related with the interaction capacity of *model* to interact with other components of mobility (social, economical, technological, etc.) in the decision-making process.

The implementation of *model* has the following steps:

- a) *Study-case*. The first step of *model* is related with the definition of different alternatives. The elaboration of database and the viability of information sources are the main task in this phase (see chapter 2).
- b) *Indicators system*. The second step of *model* is based on the design of indicators system for the environmental performance evaluation of urban mobility. The indicators selected are based on the environmental characteristics of mobility (see chapter 3).
- c) *Environmental thresholds*. The third step of model is related with the estimation of environmental thresholds for the indicators previously selected. The identification of environmental thresholds permits to define levels of environmental performance of mobility (see chapter 4).
- d) *Mobility environments*. The fourth step of model analyzes the environmental performance results on spatial units, which are defined through land use and travel patterns factors. These spatial units are named *mobility environments* (see chapter 5).
- e) *Environmental determinants*. The last step of model is based on analyzing what factors have more influence on environmental performance of urban mobility.

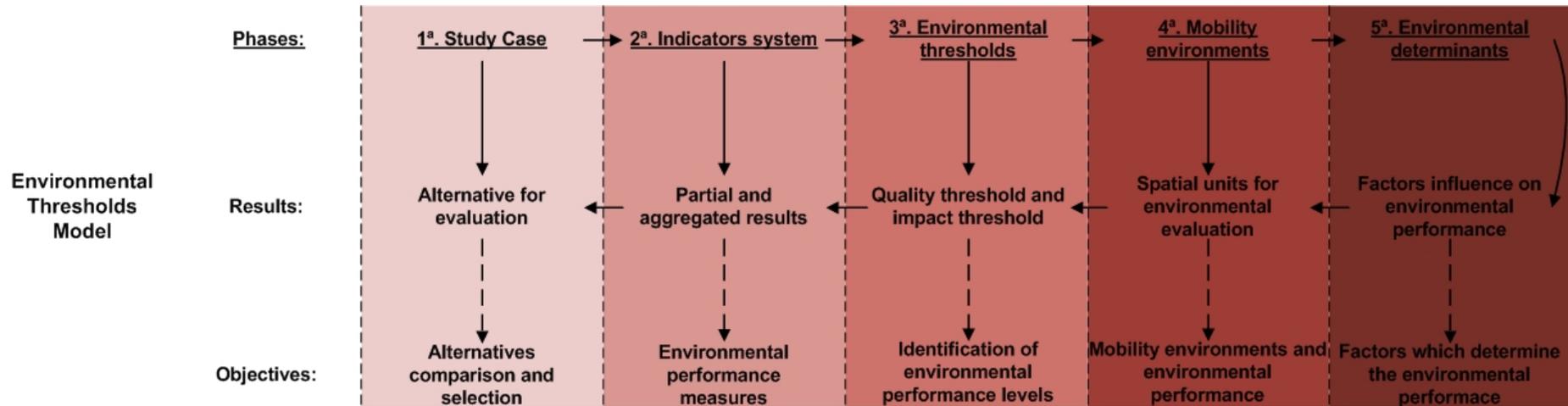


Figure 9.1. *Environmental thresholds model*. Application and phases.

9.1.3 Study case

It has been selected a metropolitan transit corridor in metropolitan area of Granada (Spain) as study case for the research. The corridor is formed by four municipalities (Albolote, Armilla, Granada and Maracena) where the institutions with competences have decided to implement a LRT system.

In this context, the *environmental thresholds model* will be applied on two possible alternatives in the corridor:

- Alternative S.0 which is characterized for non implementation of LRT in the corridor.
- Alternative S.1 which is characterized for the implementation of LRT in the corridor¹.

The figure 9.2 shows the geographical location of corridor in the metropolitan area of Granada.

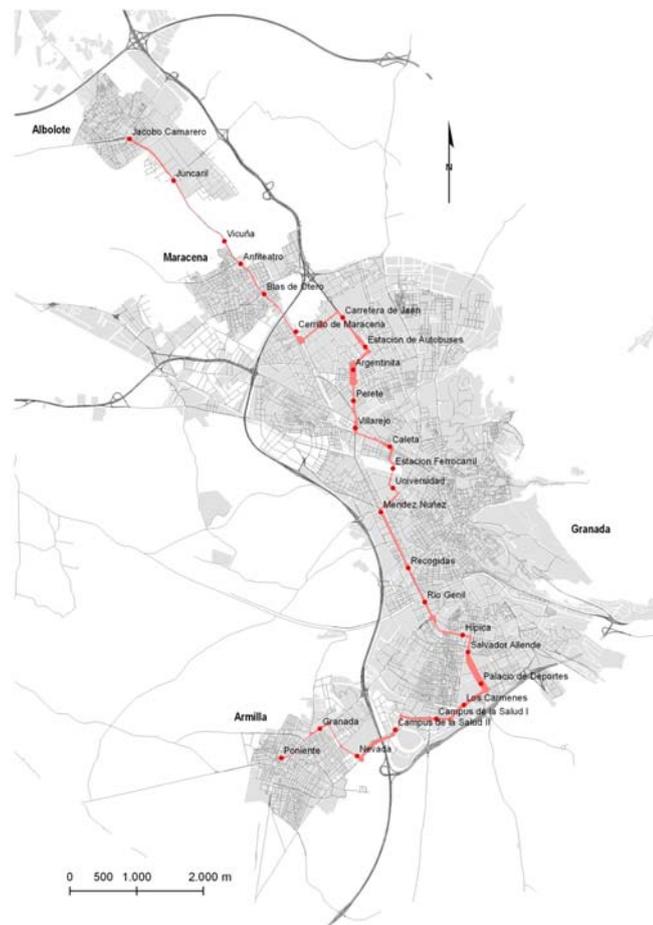


Figura 0.2. Geographical location of corridor and stations of LRT.

¹ One of the main topic of research is based on implementation of LRT system (see section 1.4, chapter 1. For this reason, it is important for this research the knowledge about the factors behind success in the urban implementation of LRT (Priemus y Konings, 2001) (Babalik y Sutcliffe, 2002) (Hass-Klau y Crampton, 2005), especially, in the case of Andalusia, Spain (Valenzuela *et al*, 2011)

The suitability of study case is based on:

- *Environmental differences.* The two alternatives (alternative S.0 and alternative S.1) are two different environmental options for the transit corridor. These environmental differences are focused on giving priority of car transit in the case of alternative S.0, while alternative S.1 is based on promoting the public transport transit (see figure 9.3).
- *Urban design differences.* The corridor is divided in 25 sections which are different from urban design point of view. The application of *model* must be sensible to these urban differences.
- *Diversity of urban places.* There are a lot of different urban places around the corridor. This situation implies to study the travel demands of residential places, industrial places, commercial places, etc.
- *The corridor as connector structure.* The most important streets of municipalities are connected with the corridor. Therefore, the mobility in the study case has a global influence on municipalities which is necessary for assessing.

9.1.4 Hypothesis

The hypotheses of research are:

- The current trends indicate the necessity to develop indicators oriented to assess the environmental performance of urban mobility (Litman, 2009). As a consequence, during the last decades a lot of studies and reports has been published with this objectives². **This research explores the suitability to assess the urban mobility through the environmental performance concept. Moreover, it analyzes the improvements of implementing environmental thresholds in the evaluation system.**
- Despite the existence of a great number of researches which study the relation between urban structure and travel patterns³, not always these researches are oriented to the evaluation of urban mobility. **For this reason, this research studies the spatial dimension of environmental evaluation as a way to have a more operative implementation of assessment systems.**
- Unlike more classic environmental assessment methods, **this research tries to demonstrate that to develop tools oriented to analyze the influence of mobility factor on environmental performance; it can increment the proactive capacity of environmental evaluation.**

² In section 1.3, chapter 1, it can be seen several examples of monitoring indicator for urban mobility (EUROSTAT, 2009) (EEA, 2009) (Joumard y Gudmonsson, 2010), as well as, different applications of environmental performance evaluation system for urban mobility (López, 2007) (Vtrans, 2008).

³ See Banister (2005) and Naess (2006) where are synthesized researches focused on analyzing the connection between urban structure and travel patterns.

9.1.5 Objectives

The main objective of research is the ***proposal, development and application of model for evaluation of urban mobility based on environmental thresholds***. The specific objectives are:

- **To do a bibliographical review of general context of research** oriented to environmental evaluation of urban mobility.
- **To design and apply an indicators system for environmental performance evaluation of urban mobility.** The indicators system must show partial results (per indicator) and aggregated results (final index).
- **To propose methods to estimate environmental thresholds** as an instrument for improvement the evaluation of urban mobility.
- **To propose conceptual and methodological advances to study the connection between urban structure and travel patterns** from point of view for environmental evaluation.
- **To develop concept and methods for analyzing the environmental performance sensitivity to factors of urban mobility** with the aim to improve the implementation of model.

9.1.6 Document structure

The document is structured in 8 chapters:

The **chapter 1** presents the theoretical foundations of research. The contents are focused on three discussion topics: (i) The environmental dimension of urban mobility; (ii) The environmental assessment of urban mobility; (iii) The environmental-urban integration of light rail systems.

The **chapter 2** presents the main characteristics of research study-case. The research will be developed on metropolitan transit corridor in metropolitan area of Granada (Spain). The corridor is integrated for four municipalities: Albolote, Armilla, Granada y Maracena.

The different institutions with competences in the corridor have decided to implement a light rail system. For this reason, it has been designed two alternatives for the corridor: (i) S.0 alternative, which is based on non-implementation of light rail system; (ii) S.1 alternative, which is based on the implementation of light rail system.

The contents of chapter are focused on the explanation of the main sources of research and the application of the *environmental thresholds model* on the two alternatives defined.

The **chapter 3** develops an indicators system to evaluate the environmental performance of urban mobility. The proposal is developed on methodological process, which not only covers a conceptual framework for mobility's environmental evaluation, but its application on the study case in Granada Metropolitan Area too.

The indicators system has six indicators which inform about three components of environmental performance of mobility: (i) Use of energy and other resources; (ii) Emission of wastes; (iii) Modal use of corridor. Finally, the six indicators selected are aggregated in a global performance value.

The **chapter 4** proposes a methodological framework to determine environmental thresholds for urban mobility. Then, a practical application will be developed on the study case. Two environmental thresholds are estimated for each indicator: (i) Quality critical threshold (QCT) and; (ii) Impact critical threshold (ICT). On the one hand, the QCT is an optimum value of indicator where the environmental consequences of mobility are very low. On the other hand, the ICT is an impact value of indicator where the environmental consequences are very serious.

The adoption of two thresholds determines three levels of environmental performance for each indicator: optimum, acceptable and negative. The estimation of thresholds is based on two questions: (i) The existence of regulation normative; (ii) The definition of standard section in the corridor.

The **chapter 5** proposes the *mobility environment* concept which is defined as a functional spatial unit for environmental evaluation (see theoretical foundation of research), This chapter develops a method to identify *mobility environments* in the corridor, then, a comparison of environmental performance measures developed in chapter 3 y 4 will be done on these spatial units.

The method is based on different concepts (components of mobility environment, indicators and mobility vectors), which are interacting in a sequential process until the final definition of mobility environments.

The results obtained have permitted to identify five mobility environments in the study-case (i) proximity and local dimension environment; (ii) proximity and transit distribution environment; (iii) intermodal stations environment; (iv) motorized transit environment; (v) metropolitan centrality environment.

The **chapter 6** develops a method to study what mobility's factors have more influence on environmental performance and, how these factors can be modified in each mobility environment.

The method is based on sensitivity analysis, which studies how is the variation of environmental performance of mobility when different factors are modified. For that, it has been proposed 4 analytical concepts: (i) Factor's impact value and factor's optimum value; (ii) Environmental saturation parameter; (iii) Environmental modification interval; (iv) Absorption capacity and improvement capacity for each mobility environment.

Not only are the results of this method useful for environmental comparison of alternatives, but they can help to understand the environmental consequence of alternatives' modifications.

The **chapter 7** exposes the different steps of model's application. On the one hand, the main characteristics of *model* are analyzed, as well as, the relations between the different phases of *model* are commented. On the other hand, the usefulness of *model* are studied from the model capacity of environmental comparison, the model capacity of environmental diagnostic and the model capacity of environmental decision.

The **chapter 8** explains the main conclusions of the research.

9.2. Conclusions

9.2.1 Hypothesis

The research is based on three hypotheses:

- To explore the suitability to assess the urban mobility through the environmental performance concept. Moreover, it analyzes the improvements of implementing environmental thresholds in the evaluation system.
- To study the spatial dimension of environmental evaluation as a way to have a more operative implementation of assessment systems.
- To demonstrate that to develop tools oriented to analyze the influence of mobility factors on environmental performance; it can increment the proactive capacity of environmental evaluation.

Regarding to the first hypothesis, it is important to indicate that the mobility has a particular character in the urban environment as a consequence of: (i) It is a process in perpetual change; (ii) It is affected for external factors (social, economical, urban, etc.) and; (iii) its environmental consequences are principally changing.

Among others, these characteristics of urban mobility have been responsible of publications related with the environmental performance evaluation of mobility unlike a more classic approaches linked with environmental impact evaluation (Perybrune 2000) (ODOT 2007), (López 2007) (Vtrans 2008) (Litman, 2009).

The environmental thresholds model is based on the idea of environmental performance evolution of urban mobility. For that, it is used an approach close to De Borger *et al* (2004) who understands the **performance evaluation systems as a measures of different environmental aspects with influence in the mobility.**

The **evaluation has been conceptualized on the idea of three representatives blocks of environmental performance of mobility: (i) Use of energy and other resources; (ii) Emissions of wastes and; (iii) Modal use of corridor.**

The main advantages of the environmental performance evaluation are:

- The **high model capacity for environmental diagnostic**. This characteristic is the result of the different interpretations which can be done about the results of model, as a consequence of partial evaluations per indicator and aggregated evaluations in a final index. See figures 3.31 and 3.32 in chapter 3.
- The results of model permit to put in **relation the transformation capacity of the alternatives in evaluation and the environmental efficacy and efficiency of urban mobility**. This aspect facilitates to analyze the possible compensations between alternatives. Some representative examples can be consulted in sections 3.3.2 (see figures 3.16 and 3.19), section 3.3.3 (see figure 2.25).

Related with the evaluation system and in connection with the first hypothesis, the research explores the advantages and difficulties to implement environmental thresholds as a way to improvement the performance evaluation system. For that, it has been proposed the design of two environmental thresholds per indicator: (i) Quality critical threshold (QCT) and; (ii) Impact critical threshold (ICT). On the one hand, the QCT is an optimum value of indicator where the environmental consequences of mobility are very low. On the other hand, the ICT is an impact value of indicator where the environmental consequences are very serious.

The implementation of environmental thresholds has the following contributions:

- **The environmental thresholds increment the capacity of model as instrument for alternatives comparison**. From this point of view, indicators as noise emission (see section 4.4.3.1 and figure 4.30) or modal spatial coefficient (see section 4.4.3.1 and figure 4.30) are representatives of higher precision of model.
- **The environmental thresholds permit to extend the results of evaluation** not only for environmental diagnostic, but also the knowledge of factors with more determinants for the environmental performance of mobility.

The second hypothesis is focused on studying the spatial dimension of environmental evaluation as a way to have a more operative implementation of assessment systems. With this aim, it has been identified five *mobility environments* as spatial units for analyzing the environmental performance of corridor (see section 5.3.3, chapter 5). From the results obtained (see section 5.4.4, chapter 5), it has seemed fundamental to give a spatial dimension of environmental performance measures. Some advantages are:

- **New interpretations about the environmental performance of mobility have been obtained when the results are represented on the *mobility environments***. A good examples of this situation are the indicators public space coefficient and barrier effects. Both indicators have an improvement of the environmental performance level in the alternative S.1 respect the alternative S.0 (see sections 4.4.3.1 and 4.4.3.2, chapter 4). The problem is that these improvements not happened in those places of corridor when is more necessary the change of these indicators (see sections 5.5.3.1 and sections 5.5.3.2, chapter 5).

- To orient the environmental evaluation on spatial units **not only has permitted to analyze the factors with influence on environmental performance of urban mobility, but it is an important question for developing criteria oriented to optimize the urban and mobility demands of each spatial unit.** See more information in section 6.4, chapter 6.
- **The proposal of *mobility environments*** has been very useful for the environmental evaluation. Firstly, the definition of *mobility environments* has supposed an integrated valuation of urban structure and travel patterns factors. Secondly, **the factors used in the mobility environments definition are representatives of different characteristics of corridor.** This situation has permitted to identify mobility demands for the different places of corridor which is a new input for the evaluation (see section 5.5, chapter 5).

The third and last hypothesis tries to demonstrate that developing methods and concepts for analyzing the environmental performance of urban mobility, it is a way to get a model more proactive in the decision-making process. For that, this research has proposed different concepts with the following contributions (see section 6.2, chapter 6):

- To know what factors have more influence on environmental performance of urban mobility for the different alternatives in evaluation.
- To know what *mobility environments* have more capacity to assume alterations in those factors.

The **results obtained show an increment of the proactive capacity of model as a consequence of the capacity of concepts and methods proposed to interact with other component of urban mobility** (social, economical, technological, modal, etc.).

Related with the objectives of research, the main conclusions obtained are:

- The first objective was **to do a bibliographical review of general context of research** oriented to environmental evaluation of urban mobility. The chapter 1 does a bibliographical review of researches more relevant for this PhD. In this way, it has been elaborated a theoretical foundations of research with three main topics: **(i) The environmental dimension of urban mobility; (ii) The environmental assessment of urban mobility; (iii) The environmental-urban integration of light rail systems.**
- **To design and apply an indicators system for environmental performance evaluation of urban mobility** is the second objectives of research. The chapter 3 achieves this objective through the selection and design of indicators related with three aspects: (i) Use of energy and other resources; (ii) Emissions of wastes and; (iii) Modal use of corridor.

For each one of three blocks have been design two indicators: (i) the superficial efficiency and energy efficiency in the case of use of energy and other resources; (ii) PM₁₀ concentration and noise emission in the case of emissions of wastes; (iii) public space coefficient and barrier effect in the case of modal use of corridor. Finally, through multicriterio techniques has been obtained and aggregated final value.

- The third objective is focused on **proposing methods to estimate environmental thresholds** as an instrument for improvement the evaluation of urban mobility. In the chapter four this objective is achieved. **Specifically, two environmental thresholds has been proposed for each indicators previously described:** (i) Quality critical threshold (QCT) and; (ii) Impact critical threshold (ICT). On the one hand, the QCT is an optimum value of indicator where the environmental consequences of mobility are very low. On the other hand, the ICT is an impact value of indicator where the environmental consequences are very serious.
- **To propose conceptual and methodological advances to study the connection between urban structure and travel patterns** is the fourth objective of research. The chapter 5 achieves this objective. For that, it is proposed a methodology for the identification of *mobility environments* where are put in relation factors of urban structure and factors of travel patterns.

On the one hand, the urban structure factors analyzed are: (i) residential density; (ii) diversity and intensity of urban activities; (iii) The temporal distribution of urban activities. On the other hand, the travel patterns factors analyzed are: (i) traffic flows and urban activities of corridor; (ii) Influence of transversal streets to corridor.

- **To develop concept and methods for analyzing the environmental performance sensitivity to factors of urban mobility** is the last objective of research. The chapter 6 achieves this objective. For that, a sensitivity analysis is done where is studied what mobility factors are more relevant for the environmental performance. With this aim, it will be proposed the following concepts: (i) Factor's impact value and factor's optimum value; (ii) Environmental saturation parameter; (iii) Environmental modification interval; (iv) Absorption capacity and improvement capacity for each mobility environment.

9.2.2 Methodology

The methodology of the research can be divided in four main discussion topics:

- Environmental comparison of alternatives.
- Environmental performance comparison and definition of environmental thresholds.
- The environmental assessment from integrated perspective of urban structure and travel patterns.
- Environmental performance sensitivity to urban mobility factors.

Regarding to **the first methodological topic discussion** related with the environmental comparison of alternatives, it is necessary to say that the model has been applied on two possible alternatives. On the one hand, the alternative S.0 proposes the non-implementation of LRT in the corridor. On the other hand, the alternative S.1 proposes the implementation of LRT in the corridor. Some of main conclusions of environmental comparison of two alternatives are:

- To check one of the main characteristics of model which is linked with the environmental evaluation of alternatives (see section 0.2 of general introduction). The comparison of alternatives as a work method has permitted to detect the high capacity of model for the environmental comparison (see sections 3.3, chapter 3, 4.4, chapter 4 and 5.4, chapter 5).
- The fact to work with two alternatives increments the possible situations for the evaluation. This situation implies that the model had been applied until 50 cross-sections different. Therefore, It has been demonstrated the great adaptation capacity of model.

The **second methodological topic discussion** is related with the environmental performance evaluation and the definition of environmental thresholds. The main conclusions are:

- The environmental performance evaluation has been done through six indicators previously described. The method used has been suitable respect the objectives of research. The utility of method is based on: (i) The indicators selected give information about the environmental tendency of each alternatives and not about the final environmental consequences of mobility (see section 4.4. chapter 4); (ii) The results obtained put in relation the transformation capacity of alternatives and its environmental differences (see section 3.2, chapter 3).

- The estimation of aggregated value has been used multicriterio techniques, which are based on the assignation of weights to each indicator. Then, it has been necessary the normalization of results (see section 3.2.2, chapter 3)
- The weight values of each indicator has been obtained through Delphi panel with 50 experts about LRT in metropolitan area of Granada. On the one hand, the main advantages to use the Delphi panel are: (i) The introduction of participation techniques in the mobility evaluation; (ii) Flexible method where the results can be directly implemented in the evaluation. On the other hand, the main disadvantages are related with: (i) It is necessary the right election of experts; (ii) The formulation of clear questions and oriented to the results.
- The estimation of environmental thresholds for each indicator has had the following process. On the one hand, in the case that the results of indicator are regulated at normative level (for example: energetic efficiency, concentration PM₁₀, and noise emission), it has been selected the thresholds taking as a reference the normative. On the other hand, when the results of indicators has not regulation normative (for example: superficial efficiency, public space coefficient and barrier effect), the environmental thresholds have been estimated through the proposal of two standard sections (quality section and impact section) (see figure 4.4, chapter 4).
- The main advantage to adopt environmental thresholds through normative regulation is related with the values have public acceptance. On the other hand, the main disadvantage is related with the thresholds are not specific for the study case (see the example of energetic efficiency of urban mobility in section 4.3.1.1, chapter 4).
- The main advantage to adopt environmental thresholds through standard sections is related with their specific character for the study case. On the other hand, the main disadvantage is related with the non necessary public acceptance for the different stakeholders.

The **third methodological topic** of research is related with the integrated dimension of evaluation between factors or urban structure and factors of travel patterns. The method used is the proposal of *mobility environment* concept as a mobility evaluation concept from different points of view such as: spatial, sustainable, social-economical and modal evaluation.

The method proposed is based on analyzing the interrelationships between urban structure components and mobility patterns components. In this respect, three methodological phases have been identified: (i) definition of components, indicators and mobility vectors; (ii) design of influence matrix between indicators and mobility vectors, and finally, (iii) identification and definition of mobility environment in the study-case.

Once the method has been applied on metropolitan transport corridor in the study case, the results obtained have shown five mobility environments which are: (i) proximity and local dimension environment; (ii) proximity and transit distribution environment; (iii) intermodal stations environment; (iv) motorized transit environment; (v) metropolitan centrality environment.

The mobility environments identified present different characteristics which are related with different dimensions of mobility: spatial, sustainable, social-economical and modal dimension.

The **fourth and last methodological topic** is related with the sensitivity of environmental performance to factors with influence on urban mobility. As it can be seen in chapter 6, the sensitivity analysis permits to know how is the variation of environmental performance when different factors are modified (see figure 6.3, chapter 6). In this respect, the main conclusions are:

- The method is sensible to different *factors* which have been used in the chapter 6 (modal distribution factors, modal flows factors and modal passengers factors). For each factor, it has been calculated an impact value and optimum value. These values are equivalent to factor's value which have as a consequence that the environmental performance of mobility gets the QCT (optimum value) or ICT (impact value).
- The method is suitability to identify *factors* which are determinants (in positive direction or negative direction) of the mobility environmental performance (see section 6.4.1.1, chapter 6). Other application of the method is based on knowing the interval of modification per factors (see section 6.4.1.2, chapter 6). Finally, the method permits to advance in the environmental comparison of alternatives at *mobility environment* level.

9.2.3 The advances of research

Regarding to indicators system:

- Unlike other performance evaluation system consulted, one of the main advances of this research is focused on the incorporation of Delphi methods (see section 1.3.2, chapter 1). In this case, it has been used an experts panel (see section 3.3.4, chapter 3). The results obtained show an evident complementarity between Delphi panels and environment evaluation system.
- The main advance related with the evaluation system is based in the adoption of environmental thresholds, which not only are used from the perspective to define performance level, but they can be used for development of decision support concept (see chapter 6). This situation improves the proactive character of *model*.

Regarding to the environmental thresholds:

- The research does a normative review oriented to the environmental evaluation. From this question, different criteria have been developed for the adoption of environmental thresholds from normative regulation (see section 4.3.1, chapter 4).
- A methodological process with exportable character is developed for the estimation of environmental thresholds. This methodology will be applied when the indicators are not regulated at normative level. The main contribution is based on the review, adaptation, proposal of standards of urban design for the adoption of environmental thresholds.

Regarding to the spatial dimension of environmental evaluation:

- The main advance of research is to incorporate to *environmental thresholds model* the spatial dimension. For that, it has been studied different factors related with urban structure and travel patterns. This question gives to *model* a character close to 'demand management' approach.
- For the spatial dimension of environmental evaluation, it has been proposed the *mobility environment* concept. The main contribution is based on developing a method for the identification of *mobility environments* and its role in the evaluation of urban mobility.

Regarding to the developments of support decision concept:

- Unlike others environmental evaluation system, the main contribution of research is based on the proposal, development and application of support environmental decision. This question improves the proactive character of model (see chapter 6).
- At methodological level, the development of support decision concept has implied the adaptation of sensitivity analysis to topic of urban mobility. This situation contributes to open new future research topics (see section 8.6).

9.2.4 The suitability of study case

It has been selected a metropolitan transit corridor in metropolitan area of Granada (Spain) as study case for the research. The corridor is formed by four municipalities (Albolote, Armilla, Granada and Maracena) where the institutions with competences have decided to implement a LRT system.

In this context, the *environmental thresholds model* will be applied on two possible alternatives in the corridor:

- Alternative S.0 which is characterized for non implementation of LRT in the corridor.
- Alternative S.1 which is characterized for the implementation of LRT in the corridor

The main conclusions about its suitability are:

- The results show great environmental differences. The two alternatives (alternative S.0 and alternative S.1) are two different environmental options for the transit corridor. These environmental differences are focused on giving priority of car transit in the case of alternative S.0, while alternative S.1 is based on promoting the public transport transit (see section 3.3 in the chapter 3 and section 4.4 in the chapter 4).
- The results show a great urban design differences. The corridor is divided in 25 sections which are different from urban design point of view. The application of *model* must be sensible to these urban differences.
- The results show a great diversity of urban places. There are a lot of different urban places around the corridor. This situation implies to study the travel demands of residential places, industrial places, commercial places, etc.

9.2.5 The limitations of research

- The *environmental thresholds model* does not evaluate the sustainability tendency of urban mobility from an integral perspective (social, economical and environmental). The *model* is exclusively focused on the environmental dimension of urban mobility. For this reason, a possible way to improve the research is based on amplifying the evaluation to other component of sustainability.
- From point of view of results obtained, the two alternatives for corridor show a great suitability for getting the objective of research. In this way, the design of new alternatives, for example from the implementation to other transportation system (BRT) could improve the application of *model*.

- The characteristics of corridor jointly with the information which are available have determined the design of indicators. For this reason, working with a higher number of indicators, as a previous step of model's application could be a way to improve this research.
- For each *mobility environment* has been established different environmental demands from urban characteristics. Possible improvements of research could be focused on implementing in this step, participation process o Delphi methods, which can support a better definition of these environmental demands.
- For the definition of *mobility environment* has been used a urban space around corridor of 250m. This question is a result of the information available (see chapter 2). Optimizing the identification and definition of mobility environments is based on improvements the definition of space around the corridor.
- Possible improvements of sensitivity analysis is based on analyzing experiences of the influence of factor on urban mobility. This question can help us to increment the precision level of model.

9.2.6 Future research topics

- To study and analyse the implementation of *environmental thresholds model* in relation with the planning system could be a future research topics. Specially, studying the opportunities for users and the contribution to urban mobility planning for a sustainable perspective.
- To optimize the *model* from the incorporation to others dimensions of urban mobility which are necessary for a sustainable approach (social and/or economical).
- To research on the incorporation of Delphi panel as tools for the evaluation and planning of urban mobility.
- To improve the method for the identification of *mobility environments*, for example through the incorporation of travel behaviour factors
- To research about the potential of sensitivity analysis for the environmental evaluation of urban mobility.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arrington G y Cervero R (2008) *Effects of TOD on housing, Parking and Travel*. TCRP, Report 128. TRB, Washington, D.C.

Adams, J (1981) *Transport Planning: Vision and practice*. Routledge and Kegan Paul. London.

Ahvenharju S (2004) *SUMMA (Sustainable Mobility, policy Measures and Assessment). Operationalising Sustainable Transport and Mobility: The System Diagram and Indicators, Deliverable 3*. <http://www.summa-eu.org> (25/04/2010).

AYESA (2002) *Estudio de Demanda del Estudio Informativo de la línea de Metro Ligero de Granada*. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.

AYESA (2003) *Anteproyecto de la línea de Metro Ligero de Granada*. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.

Babalik E y Sutcliffe E (2002) "Urban rail systems: analysis of the factors behind success". *Transport Reviews*, 22 (4) pp. 415–447.

Baja S, Chapman D M y Dragovich D. (2007). "Spatial based compromise programming for multiple criteria decision making in land use planning", *Environmental Modelling Assessment*, 12, pp. 171-184.

Banister D y Button K (1992) *Transport, the environment and sustainable development*. E & F N Spon. London (UK).

Banister D (1996) "Energy, quality of life and the environment: the role of transport". *Transport Reviews* 16(1), pp. 23-35.

Banister D (1999) "Planning more to travel less: land use and transport". *Town Planning Review*, 70(3), pp. 313-338

Banister, D. (2002) "Sustainable development - or faster, further and more?" en Jenkins J (ed.) *Remaking the Landscapes of Britain*. London: Profile Books Ltd. pp. 85-104

Banister D (2005). *Unsustainable transport: City transport in the new century*. London, Routledge.

Banister, D (2008). "The sustainable mobility paradigm". *Transport policy*, 15, pp. 73 - 80

Barrero J, Martinez-Vilanova J (1980) "Transporte urbano y consume energético". *Revista Ciudad y Territorio*, 2, pp. 73 – 82.

Bertolini L, Clercq F (2003). "Urban development without more mobility by car? Lessons from Amsterdam, a multimodal urban region". *Environment and Planning*, 35, pp. 575 – 589

Bertolini L y Djist M (2003) "Mobility environments and network cities". *Journal of Urban Design*, Vol. 8 (1), pp. 27 – 43.

Bertolini L, Clercq F y Straatmeier (2008) "Urban planning in transition". *Transport policy*, 2, pp. 69 – 72.

Borken J (2002). *Impact of transport on Health and Environment in Germany*, 3ème Journées d'Etudes du Pôle Européen Jean Monnet, "Activités humaines, risques et dommages écologiques", Metz (La France), 2002-11

Breheny M y Rookwood R (1993) "Planning the sustainable city region" en Blowers (Ed) *Planning for a sustainable environment. A report by Town and Country Planning Association*, Earthscan London, pp. 150 – 189.

Breheny M (1997) "Urban compaction. Feasible and acceptable?". *Cities* 14(4), pp. 209 – 217.

Brons M, Nijkamp P, Pels E y Rietveld P (2005). "Efficiency of urban public transit: A meta analysis" *Journal of Transportation*, 32, pp. 1 -21

Buchanan C (1963) *Traffic in towns*. Harmondsworth. Penguin Books.

Burnett K P y Hanson S (1982). "An Analysis of Travel as an example of Complex Human Behavior in Spatially Constrained Situations", *Transportation Research*, 16A,

Camagni R, Gibelli M.C y Rigamonti P (2000) "Urban mobility and urban form: the social and environmental cost of different patterns of urban expansion". *Journal of Ecological Economics*, 2 (40), pp. 199 – 216.

Campion T, Larwin JW, Schumann y Wolsfeld RP (2000) "Light rail transit: future opportunities and changes". In: *Transportation in the New Millennium, State of the Art and Future Directions*, Transportation Research Board, Washington, DC, p. 5.

Cao X, Mokhtarian P, Handy S (2009) "Examining the impact of residential self selection on travel behavior. A focus on empirical findings". *Transport Reviews*, 29 (3), pp. 259 – 396

Cebollada A y Miralles C (2004) "Mobilitat i exclusió social: un nou repte per a les administracions locals". *Sintesis*, 9. http://www.diba.es/pdfs/Sintesi_9.pdf.

CERTU (1999) *Plans de déplacements urbains. Guide Méthodologique*. CERTU-ADEME.

Cervero, R. 1994. "Rail-oriented office development in California: How successful?" *Transportation Quarterly* 48(1), pp. 33–44.

Cervero R, Kockelman K (1997) "Travel demand and the 3D_s: Density, diversity and design". *Transportation Research*, 2, pp. 199 – 219

Cervero R (1998) *The Transit Metropolis: A global Inquiry*. Island Press, Washington DC

Cervero R (2002). "Built environments and mode choice: toward a normative framework". *Transportation research D* 7(4) pp. 265 - 284.

Cervero R (2009a) "Public transport and sustainable urbanism: Global lessons" en Curtis C, Renne JL, Bertolini L (eds.) *Transit oriented development. Making it happen*. Ashgate.

Cervero R; Sarmiento O; Jacoby E; Fernando L, Neiman, A (2009b). "Influences of built environments on walking and cycling: Lesson from Bogota". *International Journal of Sustainable Transportation* (3): 203 – 226

Comisión europea. CE (2011) Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible. COM 144. Bruselas.

Commission of the European Communities. CEC (1992a) *Sustainable mobility: Green paper on the impact of transport on the environment*. COM 92 (46). Brussels. CEC.

Commission of the European Communities. CEC (1992b) *The Future Development of The Common Transport Policy: A global approach to the construction of a community framework for sustainable mobility*". COM 92 (494). Brussels. CEC.

Commission of the European Communities, CEC (1995). A community strategy to reduce CO₂ emissions from passenger cars and improve fuel economy. COM 95, Brussels.

Commission of the European Communities. CEC (1998) *On transport and CO₂. Developing a Community Approach*. COM 98 (1204). Brussels. CEC.

Cooper R, Evans G y Boyko, C (2009) *Designing sustainable cities*. Oxford Blackwell's publishing

COPT (2007) *Modelización de la movilidad actual y futura en el Área Metropolitana de Granada tras la puesta en servicio de la red de Metro Ligero (Estudio de Demanda)*. Junta de Andalucía.

COPT (2009) *Reforma del Estudio de Demanda debido a cambio de trazado de la línea de metro en el entorno de la Estación de Ferrocarril*. Junta de Andalucía.

Corral C (1992) "Tratamiento viario y transporte en los cascos históricos. El plan especial de la ciudad antigua de León". *Revista Ciudad y Territorio*, 91-92, pp. 109 – 117.

Crespo M (1992) "Dificultades mutuas del planeamiento urbanístico y sectorial". *Revista Ciudad y Territorio*, 91-92, pp. 11-19

Curtis C (1995) "Reducing the need to travel: Strategic housing location and travel behavior" in Earp JH, Heachicar P, Banister D y Curtis C (eds) *Reducing the need to travel: some thoughts on PPG13*. Oxford Planning Monographs, 1(2). Oxford: Oxford Blokes University. Planning Department.

Curtis C, Renne J y Bertolini, L (2009) *Transit-oriented development. Making it happen*. Aldershot: Ashgate.

Deakin M, Mitchell G, Nijkamp P (2007) *Sustainable urban development. The environmental assessment methods*. Taylor and Francis. New York, USA

De Borger B, Kerstens K, Costa A (2002) "Public transit performance: What does one learn from frontier studies?". *Journal of Transport Reviews*, 22(1), pp. 1 – 38

Decreto 74/1996, de 20 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de Calidad del Aire. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía.

Decreto 326/2003 por el que se aprueba el *Reglamento de protección contra la Contaminación Acústica*. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía.

Diana M, Daraio C (2010) "Performance indicators for urban public transport systems with a focus on transport policy effectiveness issues". *Paper in World Conference on Transport Research, 2010 (WCTR, 2010)*. Lisbon.

Directiva 70/220/CEE del consejo, de 20 de marzo de 1970, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros en materia de medidas que deben adoptarse contra la contaminación del aire causada por los gases procedentes de los motores de explosión con los que están equipados los vehículos a motor. Diario oficial de las Comunidades Europeas

Directiva 93/59/CEE (EURO I) del Consejo del 28 de junio por la que se modifica la directiva 70/220/CEE relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros en materia de medidas contra la contaminación atmosférica causada por las emisiones de los vehículos de motor. Diario oficial de las Comunidades Europeas.

Directiva 94/12/CE (EURO II) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de marzo de 1994, relativa a las medidas que deben adoptarse contra la contaminación atmosférica causada por las emisiones de los vehículos de motor y por la que se modifica la Directiva 70/220/CEE. Diario oficial de las Comunidades Europeas.

Directiva 96/62/CE del Consejo de 27 de septiembre de 1996 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente. Diario oficial de las Comunidades Europeas.

Directiva 98/69/CE (EURO III y IV) del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 1998 relativa a las medidas que deben adoptarse contra la contaminación atmosférica causada por las emisiones de los vehículos de motor y por la que se modifica la Directiva 70/220/CEE del Consejo. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.

Directiva 1999/30/ce del consejo de 22 de abril de 1999 *valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.

Directiva 49/2002 de 25 de Junio sobre Evaluación y gestión del ruido ambiental. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.

Directiva 2002/91/CE del parlamento europeo y del consejo de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.

Directiva 2002/49/CE del Consejo de 10 de Marzo sobre *evaluación y gestión del ruido ambiental*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.

Directiva 2007/46/CE Del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de septiembre de 2007, (PDF), por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los

remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos. (Directiva marco, refundiendo la Directiva 70/156/CE).

Dix M C y Goodwin PS (1982) "Petrol prices and car use : a synthesis of conflicting evidence". *Transport Policy Decision Making*, 2, pp. 179 – 195.

Dobranskyte A, Perujo A y Pregl M (2007) *Indicators to Assess Sustainability of Transport Activities. Review of the Existing Transport Sustainability Indicators Initiatives and Development of an Indicator Set to Assess Transport Sustainability Performance*. JRC Scientific and technological research.

DPTOP (2006) *Guia básica per l'elaboració de plans de mobilitat urbana*. Departament de Política Territorial i Obres Públiques

Duffus JH (1983) *Toxicología ambiental*. Omega. Barcelona.

Dupuy G (1999) *La dépendance automobile : symptômes, analyses, diagnostic, traitements*. Paris .Anthropos.

European Commission. EC. (2009). *Mainstreaming sustainable development into EU policies: 2009 Review of the European Union Strategy for Sustainable Development*. <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0400:FIN:EN:PDF> (25/04/2010).

European Commission. EC. (2010) *Statistical pocketbook on Energy and Transport. Luxembourg: Publications Office of the European Union*.

European Environment Agency. EEA (2009). *Transport at a crossroads. TERM 2008: indicators tracking transport and environment in the European Union*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities (EEA report, no. 3/2009)

Eurostat (2009). *Sustainable development in the European Union: 2009 monitoring report of the EU sustainable development strategy*. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-78-09-865/EN/KS-78-09-865-EN.PDF (25/04/2010)

Edwin R and Cervero R (2001) "Travel and built environment: a synthesis" *Transportation Research Record*, 1780: 1 – 3515

Fariña J y Pozueta J (1998) "La movilidad en los tejidos residenciales del suburbio disperso". *Revista Urban*, 2.

Feria JM (2011) "La delimitación y organización espacial de las áreas metropolitanas españolas: una perspectiva desde la movilidad residencia-trabajo" *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 164, pp. 189 - 210

Farrell M (1957) "The measurement of productive efficiency". *Journal of the Royal Statistical Society*, 120, pp. 253—281.

Fernández R, Herrero A, Puig-Pey P (1980) "La necesidad de desplazarse y la estructura urbana y social" *Revista Ciudad y Territorio*, 2, pp. 33 – 48.

FDT. Florida Department of Transport (2008) *Guidelines for TOD*. Department of Transportation Report.

García, J.C (2008) "Incidencia en la movilidad de los principales factores de un modelo metropolitano cambiante". *EURE*, 34 (101), p.5-24

Gava L, Roperó E, Serna, G y Ubierna U (2008), *Dirección Financiera: Decisiones de Inversión*, Editorial Delta.

Gerike R, Becker U y Friedeman J (2010) *Development of an environmental performance index for the German Transport System*. Paper presented in World Conference on Transport Research, 2010 (WCTR, 2010). Lisbon.

Geneletti D. y van Duren I (2008). "Protected area zoning for conservation and use: A combination of spatial multicriteria and multiobjective evaluation", *Landscape and Urban Planning*, 85, pp. 97-110.

Geurs KT (2000) *Ecological, social and economic evaluation of transport scenarios. An integrated approach*. PhD Research Programme. RIVM report 773002014. Buthoven National Institute of Public Health and the Environment.

Geurs K.T, Boon W, Van Wee B (2009) "Social Impacts of Transport: Literature Review and the State of the Practice of Transport Appraisal in the Netherlands and the United Kingdom". *Journal of Transport Reviews*. 29 (1), pp. 69 – 90.

Gil-Carcedo E, Gil-Carcedo LM y Vallejo LA (2008) *Efectos del ruido en la salud humana*. Editorial Universidad de Valladolid.

Givoni M y Banister D (2010) *Integrated transport. From policy to practice*. Routledge.

Gómez D (1999) *Evaluación de Impacto ambiental: un instrumento para la gestión ambiental*. Mundi Prensa. Madrid.

Gómez M y Bosque J (2004). "Aplicación de análisis de incertidumbre como método de validación y control del riesgo en la toma de decisiones", *Geofocus*, 4, pp.179-208.

Gómez D (2007) *Evaluación ambiental estratégica. Un instrumento para integrar el medio ambiente en la elaboración de planes y programas*. Mundi Prensa. Madrid.

Gómez M y Barredo JI (2005) *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Ra-Ma.

Goodwin P, Hallet F, Kenny F y Stokes G (1991) *Transport: The new Realism*. Report to the Rees Jeffreys Road Fund, University of Oxford Transport Studies Unit. Oxford (UK).

Gudmundsson H (2001) *Indicators and performance measures for Transportation, Environment and Sustainability in North America*. Ministry of Environment and Energy National Environmental Research Institute URL: <http://www.dmu.dk>

Handy S (2002) Accessibility vs mobility-enhancing strategies for addressing automobile dependence in the US. Paper presented at the ECMT round review. Paper prepared for the ESTO study on the impacts of ICT on transport and mobility. November.

Hass-Klau C, Crampton G, Carsten B, Volker, D (2003) *Bus or light rail: making the right choice. Environmental and transport planning. Bergische Universität Wuppertal.*

Hass-Klau C y Crampton G (2005) *Future of Urban Transport. Learning from success and weakness: Light Rail. Environmental and transport planning. Bergische Universität Wuppertal.*

Hickman, R., Seaborn, C, Headicar, P., y Banister, D. (2010) "Planning for sustainable travel - integrating spatial planning and transport". en, Givoni, M. and Banister, D. (eds.) *Integrated Transport: from policy to practice.* Routledge. pp. 33-54.

Herce M, Magrinyà F y Miró J (2007) *L'espai urbà de la mobilitat.* Ediciones UPC. Universitat Politècnica de Catalunya.

Herce M (2009) *Sobre la movilidad en la ciudad.* Editorial Reverte. Barcelona.

Hernández-Aja A (1992) "¿Tráfico contra calles?. Tipologías de calles en Madrid". *Revista Ciudad y Territorio*, 91-92, pp. 157 – 180.

Herrero A, Menéndez F, Molino E, Puig-Pey P y Rubio J (1980) "Consideraciones generales en torno a al apolítica del trnasporte urbano", 2, pp. 7 – 19.

Hine P, Marsay A, Edge J, Gal K (2000) *Transport development areas.* The Royal Institutions Of chartered Surveyors. London (UK)

Hull A (2008) "Policy integration: what will it take to achieve more sustainable transport solution in cities". *Transport Policy*, 15(2), pp. 94 – 103.

IDAE (2006) *Guía práctica para la elaboración e implementación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible.* Instituto para la diversificación y ahorro energético. Madrid.

IDAE (2007) *Plan de acción de ahorro energético español.* Instituto para la diversificación y ahorro energético. Madrid.

INFRAS (2000) *External costs of transport.* INFRAS-IWW

Jacobs AB, Rofé, YY y Mcdonald E (1997) *Guidelines for the design of multiple roadway boulevards.* Institute of Urban and Regional Development. University of Berkeley. CA 94720.

Jenks M, Burton E, Williams K (1996). *The compact city. A sustainable form?.* E&FN Spon. London (UK).

Joumard R, Gudmundsson H. (eds.) (2010). *Indicators of environmental sustainability in transport: an interdisciplinary approach to methods.* INRETS report No. 282

Kenworthy J (2008). *Transport Heaven and Hell.* ITS Magazine

Kitamura R, Mokshtarian P y Laidet L (1997) "A micro-analysis of land use and travel in five neighbourhoods in the San Francisco Bay Area". *Transportation*, 24(2), pp. 125 – 158.

Landeta J (2006) "Current validity of the Delphi method in social sciences." *Technological Forecasting and Social Change*, 73, pp. 467-482.

Ley 2/2003 de Ordenación de los Transportes Urbanos y Metropolitanos de Viajeros en Andalucía. Boletín oficial de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Ley 37/2003 del Ruido. Boletín Oficial del Estado. Gobierno de España.

Lippmann M (2009) *Environmental toxicants: human exposures and their health effects*. Wiley. New York.

Litman T (2003) *Measuring transportation. Traffic, Mobility and Accessibility*. Victoria Transport Policy Institute. Victoria (Canada)

Litman T (2009) *Developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning*. Victoria Transport Policy Institute. Victoria (Canada)

López, E (2007) *Assessment of Transport Infrastructure Plans. An strategic approach integrating efficiency, cohesion and environmental aspects*. Doctoral Thesis. Universidad Politécnica de Madrid.

Marshall S (2001) "The Challenge of sustainable transport" en Layard A, Davoudi S, Batty S (eds). *Planning for sustainable future*. Spon, , pp.131-147. London (UK)

Marvin S y Guy S (1997). "Infrastructure Provision, Development Processes and the Co-production of Environmental Value". *Urban Studies*, 34(12), pp. 2023 – 2036.

May AD (1991) "Integrated transport strategies: a new approach to urban transport policy formulation in the UK". *Transport Reviews*, 11(3), pp. 22 – 247.

May AD, Roberts M y Mason P (1992) "The development of transport strategies for Edinburgh" *Transport*, 95, pp. 51 – 52.

May AD, Jopson A y Mathews B (2003) "Research challenges in urban transport policy". *Transport Policy*, 10(3), pp. 157 - 164.

May AD, Tight M R (2006) "Innovation and integration in urban transport policy". *Transport policy*, 13, pp. 281 – 282.

Maibach M, Schreyer C, Sutter D, van Essen HP, Boon BH, Smokers R, Schrotten A, Doll C, Pawlowska B, y Bak M (2008): *Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT)*, Handbook on estimation of external costs in the transport sector, Version 1.1 Report Delft.

Malczewski J (1999) *GIS and multicriteria decision analysis*. New York : John Wiley & Sons.

Manchón LF y Santamera JR (1995) *Recomendaciones para el proyecto y diseño del viario urbano*. Monografías. Dirección General de la Urbanismo, Vivienda y Arquitectura.

Metcalf A E (1978) "The perception of car running costs". Commission of the European Communities. Brussels.

Miller C (2002) *Sustainable transportation performance indicators (STPI) project*. Centre for Sustainable Transportation in cooperation with IBI Group and Metropole Consultants.

Ministerio de Fomento. MF (2007) *Estrategia española de movilidad sostenible*. Gobierno de España.

Miralles C (1997) *Transport i ciutat: reflexió sobre la Barcelona contemporànea*. Bellaterra. Universidad Autónoma de Barcelona. Servicio de Publicaciones.

Miralles C y Cebollada A (2003) *Movilidad y transporte. Opciones políticas para la ciudad*. Fundación alternativas. Barcelona.

Monzón, A, Pardeiro A, Pérez P (2006) "Mejora metodológica de encuestas de movilidad de viajeros para el análisis de la demanda de transportes en España". *Estudios de Construcción y Transportes*, 2006, (106), pp.93-106.

Monzón A, López ME (2009) "Planes de movilidad urbana ¿Agentes de cambio o cambio de agentes?". *Revista Ingeniería y Territorio*, 86, pp. 20 – 25.

Naess P (2006) *Urban structure matters. Residential location, car dependence and travel behaviour*. The RTPI Library Series. Routledge.

Newman P y Kenworthy J (1999) *Sustainability and cities. Overcoming automobile dependence*. Island Press, Washington, D.C. Covelo, California.

Nijkamp P (2004). *Transport system and policy*. Edward Elgar Publishing. Massachusetts, USA

ODOT (2007) 46 *Annual Performance Progress Report - Fiscal Year 2006-07* Oregon Department of Transportation.

Organisation for Economic Cooperation and Development. OECD (1988) *Transport and the environment*. Paris. OECD.

Organisation for Economic Cooperation and Development. OECD (1991) *Environmental indicators*. Paris. OECD.

Organisation for Economic Cooperation and Development. OECD (2008a). *Annual Report on Sustainable Development Work in the OECD*.

<http://www.oecd.org/dataoecd/61/32/42177377.pdf> (25/04/2010).

Organisation for Economic Cooperation and Development. OECD (ed.) (2008b). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*.

<http://www.oecd.org/dataoecd/37/42/42495745.pdf> (25/01/2010)

Otaola P (1992) "Una política para recuperar el centro de las ciudades (El caso de San Sebastian)". *Revista Ciudad y Territorio*, 91-92, pp. 87 – 108.

Owens S (1986) "Strategic planning and energy conservation". *Town Planning Review* 57(1), pp. 69-68.

Owens S (1995) "From predict and provide to predict and prevent?: pricing and planning in transport policy". *Transport Policy*, 2(1), pp. 43 – 49.

Peyrebrune H L (2000) *Performance Measures to Improve Transportation Systems and Agency Operations: Report of a Conference*. Paper presented at the Conference on Performance Measures to Improve Transportation Systems and Agency Operations, Irvine, California. 120-121.

Portland Government. PG (1998) *Pedestrian design guide*. Office of Transportation Engineering and Development. Pedestrian Transportation Program.

Pozueta J (1992a) "Planificación urbanística y transporte. Diseño de carreteras en áreas urbanas". *Revista Ciudad y Territorio*, 91-92, pp. 51 – 66.

Pozueta J (1992b) "Transporte y planificación urbanística. Métodos de gestión de la demanda". *Revista Ciudad y Territorio*, 91-92, pp. 119 – 136.

Pozueta J (2000) *Movilidad y planeamiento sostenible: hacia una consideración inteligente del transporte y la movilidad en el planeamiento y en el diseño urbano*. Cuadernos de Investigación Urbanística, 30, Instituto Juan de Herrera. Madrid.

Pozueta J (2001): *Instrucción para el Diseño de la Vía Pública en el municipio de Madrid*. Ayuntamiento de Madrid. http://195.235.253.100/index_1.htm

Pozueta J y Ojauguren S (2005) "Situación y perspectivas de la movilidad en las ciudades. Visión general y el caso de Madrid". *Cuadernos de Investigación Urbanística*, 2005, nº 45.

Pozueta J, Lamíquiz FJ, Porto M (2009) *La Ciudad Paseable. Recomendaciones para la consideración de los peatones en el planeamiento, el diseño urbano y la arquitectura*. CEDEX. Ministerio de Fomento. Madrid.

Priemus H, Nijkamp P, Banister, D (2001) "Mobility and spatial dynamics: an uneasy relationship" *Journal of Transport Policy*, 9, pp.167 – 171

Priemus H, Konings R (2001) "Light rail in urban regions: What Dutch policy makers could learn from experiences in France, Germany and Japan". *Journal of Transport Geography*, 9, pp. 187-198.

Puig-Pley P (1992) "Carreteras en medio urbano". *Revista Ciudad y Territorio*, 91-92, pp. 67 – 74.

Real Decreto 1073/2002 sobre *evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono*. Boletín Oficial del Estado.

Reglamento 2414/1961 de *actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas*.

Reglamento 692/2008 de la Comisión de 18 de julio de 2008, por el que se aplica y modifica el Reglamento (CE) no 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos.

Ricci A, Headley S, Tomassini M, Kaparias I y Zavistas K (2010) *Assessing the performance of ITS in major cities*. Paper presented in World Conference on Transport Research, 2010 (WCTR, 2010). Lisbon.

Rodriguez DA y Joo J (2004) "The Relationship between Non-motorized Mode Choice and the Local Physical Environment". *Transportation Research D*, 9(2), pp. 151-173

Rodriguez D, Brisson E, Estupiñan N (2009). *The relationship between segment-level built environment attributes and pedestrian activity around Bogota's CRT stations*. *Transportation research D*, 14, pp. 470 – 478

Rogers R (2005) *Towards a strong urban renaissance*. Report. Urban Task Force.

Rubio J (1992) "Las carreteras urbanas. Un plan estatal de infraestructuras y transporte". *Revista Ciudad y Territorio*, 91-92, pp. 45 – 50.

Santos L y De las Rivas JL (2008) "Ciudades con atributos: conectividad, accesibilidad y movilidad". *Revista Ciudades*, 8, pp. 13-32.

Sanz A, Perez R y Fernández T (1999) *La bicicleta en la ciudad. Manual de políticas y diseño para favorecer el uso de la bicicleta como medio de transporte*. Monografías. Ministerio de Fomento.

Sanz A (2008) *Calmar el tráfico. Pasos para una nueva cultura de la movilidad urbana*. Monografías. Ministerio de Fomento. Gobierno de España.

Schwanen T, Dijst M, Dieleman M (2004) "Policies for urban form and their impact on travel: The Netherlands Experience". *Urban Studies*, 41(3) pp. 579 – 600.

Saltelli A, Tarantola S, Chan K. (1999). "A quantitative model independent method for global sensitivity analysis of model output", *Technometrics*, 41, pp. 39-56.

Serrano A (2009) "Movilidad urbana sostenible: 30 años de propuestas con escasa aplicación". *Revista Ingeniería y Territorio*, 86, pp. 10 – 19.

Shaffler H (1999) "Five rules for successful light rail systems". *Tramways & Urban Transit* (October), 372–374

Shiftan Y, Kaplan S y Hakkert S (2003) "Scenario building as a tool for planning a sustainable transport system." *Transportation Research Part D*, 8, pp. 323-342.

Song Y y Knaap G (2004). "Measuring urban form". *Journal of American Planning Association*, 70(2) pp.2220 - 2225

Soria A (1980) "¿A qué se llama transporte?" *Ciudad y Territorio*, 2, pp. 19 – 32.

Spencer N y Frost M (1995) "Work travel responses to changing workplaces and changing residences" en (eds) Bretchie J, Batty M, Hall P y Newton P, *Cities in Competition: The Emergence of Productive and Sustainable cities for the 21st Century*. Longman Cheshire, Melbourne.

Stead D (2010) "Integrated transport policy: a conceptual analysis" in Govoni M y Banister D (eds.) *Integrated Transport. From policy to practice*. Routledge.

Travisi C, Camagni R, Nijkamp P (2006) "Analysis of environmental costs of mobility due to urban sprawl a modelling study on Italian cities". *Tinbergen Institute Discussion Paper*.

United Nations UN (2007). *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. <http://www.un.org/esa/sustdev/publications/indisd-mg2001.pdf> (25/01/2010)

Valenzuela, L M., Soria, JA & Aguilera, F. (2007) Dinámicas y procesos en el área metropolitana de Granada V Congreso Internacional de Ordenación del Territorio (CIOT). FUNDICOT. Málaga (España).

Valenzuela LM, Soria JA y Talavera R (2011) "Hacia la integración de los planes y proyectos andaluces de movilidad metropolitana". *Scripta Nova*, 15(349), recurso electrónico: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-349.htm>

Van Essen H, Bello O, Dings J, Van den Brink R (2003) *The environmental performance of principal modes of freight and passenger transport in the policy-making context*. Report CE. Delft. The Netherlands.

Voorhes AM (1955) *A general theory of traffic movement*. Institute of traffic engineering

Vuchic VR (2005) *Urban Transit. Operations, Planning and Economics*. John Wiley & Sons, Inc.

Wilbur Smith Associates & Toole Design Group. Vtrans (2008). *Vermont Pedestrian and Bicycle Policy Plan*. Montpelier, VT: Vermont Agency of Transportation.

Winter J y Farthing S (1997). "Coordinating facility provision and new housing development: impacts on car use and facilities". In *Evaluating local environmental policy*, Ed. SM Farthing. Avebury studies in green research.

World Business Council for sustainable development. WBCSD. (2005). *Mobility form development: Facts and trends*. United Nations (UN).

World Commission on Environment and Development. WCED (1987) *Our common future*. United Nations (UN).

Zamorano C, Bigas JM, Sastre J (2007) *Manual de tranvías, metros ligeros y plataformas reservadas*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Consorcio de Transportes de Madrid.

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

0. Introducción general

0.1 Fases del <i>modelo de umbrales ambientales</i> y relación secuencial de sus resultados y objetivos	14
0.2 Localización geográfica del corredor y propuesta de paradas del sistema de metro ligero	16
0.3 Ejemplos de secciones viarias de cada alternativa del corredor	18
0.4 Ejemplos del entorno urbano del corredor	19
0.5 Corredor y vías transversales	20
0.6 Diagrama de flujo del proceso metodológico de la investigación	23
0.7 Localización geográfica de los 25 tramos en los que se divide el corredor	25

1. Fundamentos teóricos de la investigación

1.1 Ejemplo de aplicación de modelos de demanda de desplazamientos en la ciudad de Bogotá (1996)	42
1.2 Estrategias integradas de transporte y movilidad como catalizador entre modelos de predicción y modelos de gestión de la demanda de desplazamientos	45
1.3 Número y tipo de medidas recogidas en planes de movilidad de tres áreas metropolitanas andaluzas	46
1.4 Relación entre densidad urbana y consumo energético de la movilidad en algunas de las principales ciudades del mundo	49
1.5 Ejemplo de la representación espacial de la diversidad de actividades	49
1.6 Representación esquemática del <i>Finger-Plan</i> de Copenhague	51
1.7 Vínculos entre estructura urbana, modos de viaje y entorno de movilidad	52
1.8 Clasificación de modos de transporte público	67
1.9 Localización geográfica de los sistemas de metro ligero en las Áreas Metropolitanas de Granada, Málaga y Sevilla respectivamente	75

2	Caso de estudio: un corredor de movilidad en el área metropolitana de Granada	
2.1	Corredor de movilidad en el Área Metropolitana de Granada	85
2.2	El corredor de movilidad como eje articulador del espacio metropolitano	86
2.3	Evolución de la densidad urbana y niveles de motorización en el Área Metropolitana de Granada	87
2.4	Puntos de muestreo de la red de aforos del Ayuntamiento de Granada (2008)	90
2.5	Ejemplos del material cartográfico elaborado para el desarrollo de la investigación	95
2.6	Ejemplo de representación espacial de la información recopilada para estudiar la estructura urbana	101
3.	Un sistema de indicadores para la evaluación ambiental	
3.1	Método propuesto para el desarrollo y aplicación del sistema de indicadores	108
3.2	Relación entre factores de cada alternativa, modelo conceptual de evaluación e indicadores propuestos	110
3.3	Tramos del corredor para la evaluación de alternativas	119
3.4	Variación de MJ/viaj-Km en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 en cada tramo del corredor	121
3.5	Reparto modal de la sección viaria en la alternativa S.0 y en la alternativa S.1. Tramos 15, 16 y 17	122
3.6	Variación de MJ/viaj-Km y variación porcentual de viajeros-Km transportados (alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0)	124
3.7	Variación de MJ/viaj-Km y variación porcentual del espacio público (alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0)	125
3.8	Eficiencia energética de la movilidad urbana (MJ/viaj-km) en cada alternativa y tramo	126
3.9	Variación de m ² /viaj-Km en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 para cada tramo del corredor	128
3.10	Reparto modal de la sección viaria en la alternativa S.0 y en la alternativa S.1. Tramos 12, 20 y 21	129

3.11	Variación de $m^2/viaj-Km$ y variación porcentual de viajeros-Km transportados (alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0)	.....	131
3.12	Variación de $m^2/viaj-Km$ y variación porcentual del espacio público (alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0)	.....	132
3.13	Eficiencia superficial de la movilidad urbana ($m^2/viaj-Km$) en cada alternativa y tramo	.....	133
3.14	Variación de $\mu gr/m^3$ diarios de PM_{10} en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 para cada tramo del corredor	.....	135
3.15	Ejemplos de tramos que relacionan la variación de espacio público viario y la concentración de PM_{10}	.....	137
3.16	Concentración de PM_{10} ($\mu gr/m^3$) en cada alternativa y tramo	.....	138
3.17	Variación de dB(A) diarios en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 para cada tramo del corredor	.....	140
3.18	Ejemplos de tramos que relacionan la variación de espacio público viario y la emisión de ruido	.....	141
3.19	Emisión de ruido (dB(A)) en cada alternativa y tramo	.....	143
3.20	Variación de $m^2secc./m^2peat$ en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 para cada tramo del corredor	.....	145
3.21	Variación del coeficiente viario de reparto y variación del espacio público (alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0)	.....	147
3.22	Coeficiente viario de reparto (m^2secc/m^2peat) en cada alternativa y tramo	.....	148
3.23	Variación del EB/m en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 para cada tramo del corredor	.....	150
3.24	Tramos cuya disminución del efecto barrera en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0., está asociada a mejoras de coexistencia modal viaria o a incrementos en la dotación de espacio público	.....	151
3.25	Efecto barrera (EB/m vía) para cada alternativa y tramo	.....	152
3.26	Representación gráfica de las funciones de transformación o utilidad estimadas para cada indicador	.....	156
3.27	Variación del Valor Ambiental Global (0-1) en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 para cada tramo del corredor	.....	159

3.28	Valor ambiental global (0-1) para cada alternativa y tramo	.....	161
3.29	Representación cualitativa de los resultados de cada indicador en la alternativa S.0	.....	163
3.30	Representación cualitativa de los resultados de cada indicador en la alternativa S.1	.....	164
4	Umbrales de tendencia ambiental		
4.1	Fases metodológicas para la estimación de umbrales ambientales	.....	174
4.2	Modelo conceptual para la estimación de umbrales ambientales	.....	175
4.3	Niveles de rendimiento y tendencia ambiental del corredor en base a umbrales de calidad e impacto	.....	176
4.4	Esquema metodológico para la estimación de umbrales no regulados a nivel normativo	.....	185
4.5	Ejemplos de dimensiones mínimas para la circulación peatonal	.....	187
4.6	Ejemplos de dimensiones mínimas de las diferentes áreas funcionales de la superficie viaria no motorizada	.....	188
4.7	Representación esquemática de espacios funcionales en la superficie viaria no motorizada	.....	188
4.8	Secciones óptima y mínima de la superficie viaria no motorizada	.....	191
4.9	Ordenación modal de las secciones propuestas para el cálculo del UCC y el UCI	.....	192
4.10	Alternativa S.0. Tramos y niveles de rendimiento para la eficiencia energética	.....	196
4.11	Alternativa S.1. Tramos y niveles de rendimiento para la eficiencia energética	.....	196
4.12	Niveles de rendimiento ambiental de la eficiencia energética. Alternativas S.0 y S.1	.....	197
4.13	Tramos cuya eficiencia energética forman parte del <i>intervalo de transición</i> del UCC	.....	199
4.14	Alternativa S.0. Tramos y niveles de rendimiento para la eficiencia superficial	.....	201

4.15	Alternativa S.1. Tramos y niveles de rendimiento para la eficiencia superficial	.....	201
4.16	Ordenación modal viaria de las alternativas S.0 y S.1 en el tramo 9 del corredor	.....	202
4.17	Ordenación modal viaria de las alternativas S.0 y S.1 en el tramo 2 del corredor	.....	203
4.18	Niveles de rendimiento ambiental de la eficiencia superficial. Alternativas S.0 y S.1	.....	204
4.19	Alternativa S.0. Tramos y niveles de rendimiento para la concentración de PM ₁₀	.....	206
4.20	Alternativa S.1. Tramos y niveles de rendimiento para la concentración de PM ₁₀	.....	206
4.21	Variación de la superficie verde y peatonal entre la alternativa S.0 y S.1 en los tramos 14, 15, 16	.....	207
4.22	Niveles de rendimiento ambiental de la concentración de PM ₁₀ . Alternativas S.0 y S.1	.....	208
4.23	Alternativa S.0. Tramos y niveles de rendimiento para la emisión de ruido	.....	210
4.24	Alternativa S.1. Tramos y niveles de rendimiento para la emisión de ruido	.....	210
4.25	Niveles de rendimiento ambiental de la emisión de ruido. Alternativas S.0 y S.1	.....	211
4.26	Tramos con dB(A) en <i>intervalos de transición</i> . Alternativas S.0 y S.1	.....	213
4.27	Alternativa S.0. Tramos y niveles de rendimiento para el coeficiente viario de reparto	.....	215
4.28	Alternativa S.1. Tramos y niveles de rendimiento para el coeficiente viario de reparto	.....	215
4.29	Ordenación modal del tramo 12 para cada alternativa	.....	216
4.30	Niveles de rendimiento ambiental del coeficiente viario de reparto. Alternativas S.0 y S.1	.....	217
4.31	Tramos cuyo CVR está dentro de los <i>intervalos de transición</i> del UCC	.....	218

4.32	Alternativa S.0. Tramos y niveles de rendimiento para el efecto barrera	.....	220
4.33	Alternativa S.1. Tramos y niveles de rendimiento para el efecto barrera	.....	220
4.34	Niveles de rendimiento ambiental del efecto barrera. Alternativas S.0 y S.1	.....	222
4.35	Alternativa S.0. Tramos y niveles de rendimiento ambiental global	.....	224
4.36	Alternativa S.1. Tramos y niveles de rendimiento ambiental global	.....	224
4.37	Niveles de rendimiento ambiental global. Alternativas S.0 y S.1	.....	225
4.38	Tramos con su rendimiento ambiental global en <i>intervalos de transición</i>	.....	226
5.	“Entornos de movilidad” y rendimiento ambiental del corredor		
5.1	El corredor como “canal-caudal” y como “lugar-acceso”	.....	234
5.2	Diagrama de flujo para la identificación de <i>entornos de movilidad</i>	.....	236
5.3	Ámbito de trabajo para la identificación de entornos de movilidad	.....	239
5.4	Esquema del método propuesto para la identificación de <i>entornos de movilidad</i> en el caso de estudio	.....	241
5.5	Esquema metodológico para el diagnóstico del rendimiento ambiental de cada <i>entorno de movilidad</i>	.....	242
5.6	Esquema de los elementos implicados en la definición de <i>entornos de movilidad</i>	.....	243
5.7	Densidad residencial en el corredor	.....	245
5.8	Densidad residencial y viabilidad modal	.....	246
5.9	Evolución de la densidad residencial en el corredor	.....	247
5.10	Tramos del corredor y densidad residencial	.....	248
5.11	Residencia (Nº viviendas) y actividades urbanas (Nº locales) en el corredor	.....	250
5.12	Evolución de la intensidad de actividades en el corredor	.....	251
5.13	Intensidad de actividades urbanas y tramos representativos	.....	252

5.14	Porcentaje de actividades urbanas en el corredor por tramos	254
5.15	Actividades urbanas dominantes. Tramos representativos	256
5.16	Equipamientos públicos en el tramo 13 respecto de los tramos adyacentes	257
5.17	Cobertura temporal de actividades urbanas y viabilidad modal	258
5.18	Distribución temporal-diaría de actividades urbanas	259
5.19	Distribución temporal de las actividades urbanas por franjas horarias	262
5.20	Ejemplos de tramos con diferente cobertura temporal de sus actividades urbanas	263
5.21	Tráfico, transporte público y actividades urbanas en el corredor	266
5.22	Vehículos/día respecto del total de actividades urbanas	268
5.23	Autobuses/día respecto del total de actividades urbanas	269
5.24	Localización geográfica de las transversales	270
5.25	Balance de tráfico en las transversales	273
5.26	Localización geográfica de las intersecciones entre transversales y corredor	274
5.27	Flujos de tráfico privado en las intersecciones 2 y 4	276
5.28	Flujos de tráfico privado en las intersecciones 1 y 3	278
5.29	Flujos de transporte público en las intersecciones 1 y 2	280
5.30	Espacio público en torno a las transversales	283
5.31	Eje de espacio público: C/Severo Ochoa-Av. Constitución	284
5.32	Actividades urbanas en torno a las transversales del corredor	286
5.33	Ejemplo de ruta comercial en la transversal de la C/ Neptuno y Recogidas	287
5.34	Áreas de actividad industrial y grandes centros comerciales en torno a las transversales.	288
5.35	Proceso metodológico y <i>entornos de movilidad</i> identificados	291

5.36	Representación espacial de los entornos de movilidad identificados	.....	292
5.37	Esquema de posibles cambios en los niveles de rendimiento ambiental del corredor	.....	300
5.38	Alternativa S.0. Niveles de rendimiento ambiental en el <i>entorno de proximidad y alcance local</i>	.....	303
5.39	Cambios de la superficie verde+peatonal en el <i>entorno de proximidad y alcance local</i>	.....	304
5.40	Alternativa S.1. Niveles de rendimiento ambiental en el <i>entorno de proximidad y alcance local</i>	.....	305
5.41	Variaciones del rendimiento ambiental entre la alternativa S.0 y S.1. <i>Entorno de proximidad y alcance local</i>	.....	307
5.42	Alternativa S.0. Niveles de rendimiento ambiental en el <i>entorno de proximidad y distribución circulatoria</i>	.....	311
5.43	Niveles de rendimiento ambiental del corredor en el entorno de proximidad y distribución circulatoria. Alternativa S.1	.....	313
5.44	Variaciones del rendimiento ambiental entre la alternativa S.0 y S.1. <i>Entorno de proximidad y distribución circulatoria</i>	.....	316
5.45	Niveles de rendimiento ambiental del corredor en el entorno de circulación motorizada. Alternativa S.0	.....	319
5.46	Niveles de rendimiento ambiental del corredor en el entorno de circulación motorizada. Alternativa S.1	.....	321
5.47	Variaciones del rendimiento ambiental entre la alternativa S.0 y S.1. <i>Entorno de circulación motorizada.</i>	.....	323
5.48	Niveles de rendimiento ambiental del corredor en el entorno de centralidad metropolitana. Alternativa S.0	.....	326
5.49	Niveles de rendimiento ambiental del corredor en el entorno de centralidad metropolitana. Alternativa S.1	.....	328
5.50	Variaciones del rendimiento ambiental entre la alternativa S.0 y S.1. <i>Entorno de centralidad metropolitana</i>	.....	330
5.51	Niveles de rendimiento ambiental del corredor en el <i>entorno estaciones de transporte público.</i> Alternativa S.0	.....	333
5.52	Niveles de rendimiento ambiental del corredor en el <i>entorno estaciones de transporte público.</i> Alternativa S.1	.....	335

5.53	Variaciones del rendimiento ambiental entre la alternativa S.0 y S.1. <i>Entorno estaciones transporte público</i>	.....	336
5.54	Método seguido en la identificación de <i>entornos de movilidad</i>	.....	339
5.55	Componentes, indicadores y vectores de movilidad utilizados en la identificación y definición de <i>entornos de movilidad</i>	.....	339
6.	Condicionantes del rendimiento ambiental de la movilidad urbana		
6.1	Relación entre alternativas, factores, indicadores y entornos de movilidad	.....	346
6.2	Conceptos propuestos para estudiar los <i>condicionantes ambientales</i> en cada <i>entorno de movilidad</i>	.....	347
6.3	Esquema metodológico del análisis de sensibilidad	.....	353
6.4	Sensibilidad del rendimiento ambiental del corredor a <i>factores</i> de distribución modal viaria	.....	355
6.5	Sensibilidad del rendimiento ambiental del corredor a <i>factores de flujo modal</i>	.....	360
6.6	Sensibilidad del rendimiento ambiental del corredor a factores de ocupación modal de viajeros	.....	364
6.7	Parámetros de saturación, factores y rendimiento ambiental	.....	370
6.8	Representación esquemática del <i>rango de variación ambiental</i>	.....	371
6.9	Secuencia del estudio de los condicionantes ambientales para un factor determinado	.....	372
6.10	<i>Factores</i> no alterables en alternativa S.1 para cada tramo del corredor	.....	375
6.11	Esquema de los rangos de reducción del rendimiento ambiental en cada tramo del corredor	.....	381
6.12	Esquema de los rangos de incremento del rendimiento ambiental para cada tramo del corredor	.....	384
6.13	Rangos de variación estimados para cada factor y entorno de movilidad	.....	386
6.14	Capacidad de absorción y capacidad de mejora por <i>entorno de movilidad</i> y tramo	.....	389

7.	El “modelo de umbrales ambientales”. Aplicación y utilidad		
7.1	Fases del modelo y resultados obtenidos	.....	395
7.2	Componente bidireccional de la capacidad del <i>modelo de umbrales</i> para comparar alternativas	.....	401
7.3	La multiescalaridad en las distintas fases de aplicación del <i>modelo de umbrales ambientales</i>	.....	402
7.4	Fases del <i>modelo</i> y capacidad de diagnóstico ambiental	.....	404
7.5	<i>Modelo de umbrales</i> y capacidad de orientar la decisión con un enfoque ambiental	.....	406
9.	Introduction and conclusions		
9.1	<i>Environmental thresholds model</i> . Application and phases	.....	425
9.2	Geographical location of corridor and stations of LRT	.....	426

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE TABLAS

1. Fundamentos teóricos de la investigación

1.1	Índice de motorización por cada 1000 habitantes entre 2000-2005, con proyecciones hasta 2050	36
1.2	Consecuencias derivadas de un patrón de movilidad con alta dependencia del vehículo privado	38
1.3	Características del <i>modelo de umbrales ambientales</i> respecto de principios de movilidad urbana sostenible	41
1.4	Comparativa de enfoques de planificación de la movilidad	43
1.5	Ejemplos de sistemas de monitorización ambiental propuestos por instituciones internacionales	57
1.6	Sistemas de evaluación del rendimiento y sistemas de monitorización. Comparación de características	59
1.7	Ejemplos de sistemas de evaluación del rendimiento de planes de transporte e infraestructuras	61
1.8	Ejemplos de sistemas de evaluación del rendimiento de la movilidad en vías urbanas	63
1.9	Rasgos fundamentales de los sistemas de evaluación estudiados	65
1.10	Recomendaciones para la implantación de sistemas de metro ligero	68
1.11	Ejemplos de factores de éxito en la implantación de sistemas de metro ligero	70
1.12	Proyectos de metro ligero en las principales áreas urbanas andaluzas	74
1.13	Medidas urbanístico-ambientales relacionadas con la implantación del sistema de metro ligero	76

2. Caso de estudio: un corredor de movilidad en el área metropolitana de Granada

2.1	Paradas de metro ligero y delimitación de tramos del corredor	84
2.2	Características principales del proyecto de metro ligero en el Área Metropolitana de Granada	87
2.3	Fuentes de información de los factores de flujo modal	89

2.4	Composición de las líneas de autobús público urbano y metropolitano para la alternativa S.0 y S.1	.....	91
2.5	Factores de flujo modal para cada alternativa	.....	92
2.6	Fuentes cartográficas utilizadas para la obtención de factores de dimensionamiento modal viario	.....	93
2.7	Factores de dimensionamiento modal viario por alternativa y tramo	.....	93
2.8	Fuentes de información de los factores de ocupación modal de viajeros	.....	96
2.9	Ocupación modal de viajeros por alternativa y tramo	.....	97
2.10	Fuentes de información de los factores de ocupación modal de viajeros	.....	98
2.11	Tipos de actividades urbanas seleccionadas en la investigación	.....	99
2.12	Datos relativos a la estructura urbana del corredor en cada tramo	.....	100

3. Un sistema de indicadores para la evaluación ambiental

3.1	Indicadores propuestos y unidades de medida	.....	109
3.2	Distribución de vehículos diesel y vehículos de gasolina en los municipios del corredor	.....	111
3.3	Coefficientes de consumo energético modal (C_j)	.....	111
3.4	Eficiencia energética de la movilidad por alternativa (S.0 y S.1) y tramo	.....	120
3.5	Eficiencia superficial de la movilidad en cada alternativa (S_0 y S_1) y tramo	.....	127
3.6	Concentración de PM_{10} en cada alternativa (S_0 y S_1) y tramo	.....	134
3.7	Emisión de ruido en cada alternativa (S_0 y S_1) y tramo	.....	139
3.8	Coefficiente viario de reparto en cada alternativa (S_0 y S_1) y tramo	.....	144
3.9	Efecto barrera en cada alternativa (S_0 y S_1) y tramo	.....	149

3.10	Pesos normalizados de cada indicador	.....	154
3.11	Puntos para la obtención de la funciones de transformación de cada indicador	.....	155
3.12	Funciones de transformación o utilidad de cada indicador	.....	155
3.13	Resultados normalizados (0-1) para cada indicador, alternativa y tramo	.....	157
3.14	Valor ambiental global en cada alternativa (S_0 y S_1) y tramo	.....	158
3.15	Resultados promedio para el total de tramos del corredor en cada alternativa evaluada	.....	165
3.16	Resultados de cada indicador y principales rasgos transformadores de las alternativas evaluadas	.....	167
4	Umbrales de tendencia ambiental		
4.1	Características de umbrales ambientales CON Y SIN regulación normativa	.....	177
4.2	Características de los tramos tipo en el caso de estudio	.....	178
4.3	Umbrales ambientales para la eficiencia energética de la movilidad urbana	.....	181
4.4	Umbrales ambientales para la concentración de PM_{10}	.....	182
4.5	Niveles de ruido recogidos en el Decreto 326/2003	.....	184
4.6	Umbrales ambientales para la emisión de ruido	.....	184
4.7	Anchuras mínimas de cada área funcional para la superficie viaria no motorizada	.....	189
4.8	Anchuras mínimas otorgadas en la investigación	.....	189
4.9	Secciones viarias de referencia	.....	190
4.10	Variables y método de estimación	.....	192
4.11	Nº viajeros recogidos en el estudio de rentabilidad económica del proyecto de metro ligero de Granada	.....	193
4.12	Valor de cada factor para el cálculo de umbrales	.....	194
4.13	Umbrales ambientales para indicadores no regulados a nivel normativo	.....	194

4.14	Tabla de contingencia entre las alternativas S.0 y S.1 para la eficiencia energética de la movilidad urbana	.....	195
4.15	Tabla de contingencia entre las alternativas S.0 y S.1 para la eficiencia superficial de la movilidad urbana	.....	200
4.16	Tabla de contingencia entre las alternativas S.0 y S.1 para la concentración de PM ₁₀	.....	205
4.17	Tabla de contingencia entre las alternativas S.0 y S.1 para la emisión de ruido	.....	209
4.18	Tabla de contingencia entre las alternativas S.0 y S.1 para el coeficiente viario de reparto	.....	214
4.19	Tabla de contingencia entre las alternativas S.0 y S.1 para el efecto barrera	.....	219
4.20	Umbrales para el valor ambiental global	.....	223
4.21	Tabla de contingencia entre las alternativas S.0 y S.1 para el valor ambiental global	.....	223
4.22	Síntesis de los umbrales ambientales estimados para el caso de estudio	.....	227
5.	“Entornos de movilidad” y rendimiento ambiental del corredor		
5.1	Indicadores para la identificación de <i>entornos de movilidad</i>	.....	238
5.2	Matriz de interacción entre <i>indicadores y vectores de movilidad</i> en el caso de estudio	.....	240
5.3	Densidad residencial en cada tramo del corredor	.....	244
5.4	Intensidad de actividades urbanas en el corredor	.....	249
5.5	Intensidad de actividades urbanas y porcentaje de cada tipo de actividad en el corredor	.....	255
5.6	Porcentaje de actividades urbanas por franja horaria	.....	260
5.7	Síntesis de los resultados obtenidos para el bloque de estructura urbana	.....	264
5.8	IMD y Nº autobuses urbanos diarios respecto del total de actividades urbanas	.....	267
5.9	Descripción de las transversales seleccionadas	.....	269

5.10	Tráfico en las transversales del corredor	.....	271
5.11	Características de las intersecciones entre transversales y corredor	.....	274
5.12	Balances de tráfico privado en la intersección 2 (tramos 14 y 15 del corredor)	.....	275
5.13	Balances de tráfico privado en la intersección 4 (tramos 17 del corredor)	.....	275
5.14	Balances de tráfico privado en la intersección 1 (tramos 10 y 11 del corredor)	.....	277
5.15	Balances de tráfico privado en la intersección 3 (tramos 15 y 16 del corredor)	.....	277
5.16	Balances de transporte público en la intersección 1 (tramos 10 y 11 del corredor)	.....	279
5.17	Balances de transporte público en la intersección 2 (tramos 14 y 15 del corredor)	.....	279
5.18	Espacio público, actividades comerciales, actividad industrial y grandes centros comerciales en torno a vías transversales	.....	282
5.19	Influencia de las vías transversales en la definición de <i>entornos de movilidad</i>	.....	289
5.20	Síntesis de las demandas ambientales del corredor en cada <i>entorno de movilidad</i>	.....	299
5.21	Indicadores de rendimiento ambiental para el <i>entorno de proximidad y alcance local</i> . Alternativa S.0	.....	302
5.22	Indicadores de rendimiento ambiental para el <i>entorno de proximidad y alcance local</i> . Alternativa S.1	.....	306
5.23	Comparación ambiental entre la alternativa S.0 y S.1 para el <i>entorno de proximidad y alcance local</i>	.....	308
5.24	Indicadores de rendimiento ambiental para el <i>entorno de proximidad y distribución circulatoria</i> . Alternativa S.0	.....	310
5.25	Indicadores de rendimiento ambiental para el <i>entorno de proximidad y distribución circulatoria</i> . Alternativa S.1	.....	312
5.26	Comparación ambiental entre la alternativa S.0 y S.1 para el <i>entorno de proximidad y distribución circulatoria</i>	.....	314
5.27	Indicadores de rendimiento ambiental para el <i>entorno de circulación motorizada</i> . Alternativa S.0	.....	318

5.28	Indicadores de rendimiento ambiental para el <i>entorno de circulación motorizada</i> . Alternativa S.1	.....	320
5.29	Comparación ambiental entre la alternativa S.0 y S.1 para el <i>entorno de circulación motorizada</i>	.....	322
5.30	Indicadores de rendimiento ambiental para el <i>entorno de centralidad metropolitana</i> . Alternativa S.0	.....	325
5.31	Indicadores de rendimiento ambiental para el <i>entorno de centralidad metropolitana</i> . Alternativa S.1	.....	327
5.32	Comparación ambiental entre la alternativa S.0 y S.1 para el <i>entorno de centralidad metropolitana</i>	.....	329
5.33	Indicadores de rendimiento ambiental para el <i>entorno orientado a estaciones de transporte público</i> . Alternativa S.0.	.....	332
5.34	Indicadores de rendimiento ambiental para el <i>entorno orientado a estaciones de transporte público</i> . Alternativa S.1.	.....	334
5.35	Comparación ambiental entre la alternativa S.0 y S.1 para el <i>entorno orientado a estaciones de transporte público</i>	.....	334
6.	Condicionantes del rendimiento ambiental de la movilidad urbana		
6.1	Factores seleccionados para el estudio de los <i>condicionantes ambientales</i>	.....	348
6.2	Características de los conceptos propuestos para estudiar los <i>condicionantes ambientales</i> del corredor	.....	351
6.3	Valores de cada <i>factor</i> en la alternativa S.1	.....	352
6.4	<i>Factores</i> relativos a la distribución modal viaria e indicadores de evaluación asociados	.....	354
6.5	<i>Valores de impacto y de óptimo</i> para cada factor de distribución modal viaria	.....	358
6.6	Factores relativos al flujo modal e indicadores de evaluación asociados	.....	359
6.7	Valores de impacto y de óptimo para cada factor de flujo modal	.....	362
6.8	<i>Factores</i> relativos a la ocupación modal de viajeros e indicadores de evaluación asociados	.....	363
6.9	Valores de impacto y de óptimo para cada factor de ocupación modal de viajeros	.....	366

6.10	Valores de impacto y de óptimo de cada <i>factor</i> por <i>entorno de movilidad</i>	.....	368
6.11	<i>Parámetros de saturación respecto del valor de impacto (PS_i)</i>	.....	373
6.12	Parámetros de saturación respecto del valor de óptimo (PS _o)	.....	377
6.13	Rangos de reducción del rendimiento ambiental por factor y entorno de movilidad	.....	379
6.14	Rangos de incremento del rendimiento ambiental de cada factor y entorno de movilidad	.....	382
6.15	Capacidad de absorción y capacidad de mejora de cada <i>entorno de movilidad</i>	.....	388
7.	El “modelo de umbrales ambientales”. Aplicación y utilidad		
7.1	Fases 1ª, 2ª y 3ª del <i>modelo de umbrales ambientales</i> . Tramos 8, 9 y 10	.....	397
7.2	Fases 4ª y 5ª del <i>modelo de umbrales ambientales</i>	.....	399