

ACE 25

Electronic offprint

Separata electrónica

DISEÑO DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO AMBIENTAL EN CORREDORES DE MOVILIDAD URBANA

JULIO ALBERTO SORIA-LARA y LUIS MIGUEL VALENZUELA MONTES

Cómo citar este artículo: SORIA-LARA, J.A. y VALENZUELA, L.M. *Diseño de un sistema de evaluación del rendimiento ambiental en corredores de movilidad urbana* [en línea] Fecha de consulta: dd-mm-aa. En: ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno, 9 (25): 43-68, 2013. DOI: 10.5821/ace.9.25.3621. ISSN: 1886-4805.

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

©

ACE 25

Electronic offprint

Separata electrónica

DESIGNING AN ENVIRONMENTAL PERFORMANCE SYSTEM TO ASSESS URBAN TRANSIT CORRIDORS

Key words: mobility; corridor; performance; assessment; environmental.

Structured abstract

Over the last decades a growing interest regarding the environmental dimension of urban mobility has been experienced. Different environmental assessment techniques (EIA, SEA, Costs-Benefits analysis, vulnerability analysis, etc.) are frequently used to minimize environmental consequences of mobility projects on cities. Despite these techniques are widely extended, certain evidences show problems when confronted with complexity of urban mobility. This seems due to technical and conceptual reasons.

The paper aims to gain insight into this problem through the study of evaluation methods orientated towards assessing the environmental performance of urban mobility. To illustrate and assess the worth of this hypothesis, an environmental performance system to assess urban transit corridors has been developed and applied on the real case of a metropolitan transit corridor in Granada (Spain)

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

DISEÑO DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO AMBIENTAL EN CORREDORES DE MOVILIDAD URBANA

SORIA-LARA, Julio Alberto¹
VALENZUELA MONTES, Luis Miguel²

Remisión inicial: 06-07-2013

Remisión definitiva: 14-03-2014

Palabras clave: movilidad; corredor; rendimiento; evaluación; ambiental.

Resumen

Durante las últimas décadas ha existido un creciente interés por la dimensión ambiental de la movilidad urbana. De este modo, distintas técnicas de análisis y evaluación (EIA, EAE, Análisis Coste-Beneficio, Análisis del ciclo de vida, etc.) son utilizadas con el fin de reducir las posibles consecuencias ambientales de una intervención sobre la movilidad en nuestras ciudades. A pesar de que estas técnicas están ampliamente extendidas, existen evidencias que cuestionan su utilidad en el campo de la movilidad urbana, tanto por razones de procedimiento y/o forma, como por razones puramente técnicas o de fondo.

Se explora aquí la conveniencia de utilizar métodos que pongan énfasis sobre la funcionalidad ambiental de proyectos de movilidad urbana en términos de rendimiento, como vía complementaria al uso de métodos de evaluación más convencionales. Para ello, se diseña y aplica un sistema de evaluación del rendimiento ambiental para corredores de movilidad urbana, incluyendo una aplicación práctica al caso del Área Metropolitana de Granada en España.

1. Introducción

Al igual que en muchos otros campos de trabajo como la economía, la sociología o la educación, desde la mitad del siglo XX hasta nuestros días ha existido un creciente interés por la dimensión ambiental de la movilidad urbana (Banister, 2005). Preocupación que ha cubierto diferentes etapas contextuales bajo un denominador común, la búsqueda de métodos y herramientas que incrementen la eficiencia de la movilidad con su entorno más inmediato.

¹ **Julio Alberto Soria-Lara:** Dr. Ambientólogo. Investigador Posdoctoral del *Amsterdam Institute for Social Sciences Research* (AISSR), Platage Muidergracht, 14, 1018TV, Amsterdam (The Netherlands). Email de contacto: j.a.sorialara@uva.nl

² **Luis Miguel Valenzuela Montes:** Dr. Geógrafo. Profesor Titular del Dpto. de Urbanística y Ordenación del Territorio, Universidad de Granada, Campus Fuentenueva s/n, 18071, Granada, España. Email de contacto: lvmontes@ugr.es

A pesar de alguna referencia seminal como el *Informe Buchanan* (Buchanan, 1963), no será hasta la segunda mitad de la década de los 70 cuando se consolide el interés por los problemas ambientales de la movilidad urbana, apareciendo trabajos e informes que demandan nuevos enfoques para su planificación y gestión vinculados, por lo general, al uso del automóvil y su relación con la estructura urbana de la ciudad (Adams, 1981; Barrero y Martínez-Vilanova, 1980; Burnett y Hanson, 1982; Dix y Goodwin, 1982; Herrero et al., 1980; Metcalf, 1978; Owens, 1986). Una nueva etapa tiene lugar a finales de los años 80 coincidiendo con la publicación del informe *Nuestro Futuro en Común* (WCED, 1987), que facilitó el desarrollo de métodos de análisis y evaluación de los efectos ambientales de la movilidad urbana, promovidos tanto desde el ámbito académico (Banister y Button, 1992; Breheny y Rookwood, 1993; Crespo, 1992; CEC, 1992; Goodwin et al., 1991; Pozueta, 1992) como institucional (OECD, 1991). La entrada del siglo XX y la aceptación del modelo *predict and prevent* frente al clásico *predict and provide* (Bertolini et al, 2008; Herce, 2009) ha contribuido a integrar la variable ambiental como una dimensión más de la movilidad urbana, incluso pudiéndose hablar de unos principios rectores que guíen a la movilidad desde una lógica ambiental (Banister, 2005). Para valorar -entre otros- el grado de alcance de estos principios en proyectos e intervenciones vinculadas a la movilidad urbana se utilizan multitud de técnicas y metodologías diferentes -no necesariamente vinculadas en origen a la movilidad- en función, principalmente, del contexto social y administrativo en el que tales proyectos se llevan a cabo (Ness et al, 2007).

El problema es que a pesar de que estas técnicas de evaluación ambiental están ampliamente extendidas (EIA, EAE, Análisis Coste-Beneficio, Análisis del ciclo de vida, etc.), son cada vez más cuestionadas cuando se trata de la movilidad urbana (Litman, 2009), siendo diferentes las razones que pueden explicar esta cuestión. Razones que son tanto de procedimiento y/o forma vinculadas a cuándo y cómo se usa la evaluación ambiental en la toma de decisiones, así como razones puramente técnicas y/o de fondo, relacionadas con la complejidad que atesora a la movilidad frente a otras posibles actuaciones en el ámbito urbano (Soria-Lara, 2011).

Centrando el discurso del artículo sobre aquellas cuestiones netamente de fondo, cabría decir que las técnicas de evaluación actuales presentan cada vez mayores dificultades para abordar la complejidad que atesora a la movilidad urbana, haciendo difícil la interacción de sus resultados con otros factores y actores que influyen en la toma de decisiones (Litman, 2009; Arce et al, 2010). Algunas particularidades de la movilidad urbana refuerzan o contribuyen a esta situación: (i) La movilidad es un sistema dinámico en constante cambio; (ii) Está condicionada por factores externos (urbanísticos, tecnológicos, socio-económicos, etc.); (iii) Afecta de forma global al conjunto de la ciudad; (iv) Sus efectos ambientales suelen ser mayoritariamente fluctuantes (según día, hora, etc., con la excepción de la construcción de infraestructuras del transporte). Todo esto influye en que con frecuencia se utilicen técnicas de evaluación ambiental que, por un lado, más que prevenir los posibles impactos o consecuencias ambientales de un determinado plan o proyecto de movilidad urbana, reaccionan para mitigar o adaptar a éste dentro de un contexto determinado (EIA o EAE) o, por otro lado, son técnicas que acaban desembocando en modelos de caja negra (análisis coste-beneficio, análisis de vulnerabilidad ambiental, etc.).

El presente artículo profundiza sobre la problemática señalada apuntando métodos que permitan centrar la evaluación de los proyectos de movilidad urbana sobre su funcionalidad

ambiental. Para ello, explora las posibilidades que ofrecen los sistemas de evaluación del rendimiento ambiental a este respecto, diseñando y aplicando uno de ellos al caso específico de un corredor de movilidad en el Área Metropolitana de Granada (España), donde las autoridades competentes se debaten entre diferentes alternativas que incluyen la implementación de un sistema de metro ligero como eje estructurador del corredor.

A partir de esta introducción (primer apartado), el artículo se estructura en 4 apartados más. El segundo apartado expone en qué consiste a nivel conceptual un sistema de evaluación del rendimiento ambiental de la movilidad urbana y cuáles son sus principales diferencias respecto de otras técnicas de evaluación. El tercer apartado incluye el diseño metodológico de un sistema de evaluación del rendimiento ambiental para corredores de movilidad urbana. El cuarto apartado presenta una aplicación práctica del sistema diseñado al caso particular de un corredor de movilidad en el Área Metropolitana de Granada (España). Finalmente, el quinto apartado realiza una discusión sobre las ventajas e inconvenientes de utilizar estos sistemas de evaluación en la planificación de la movilidad urbana, a la vez que sintetiza las principales conclusiones obtenidas.

2. Los sistemas de evaluación del rendimiento ambiental de la movilidad urbana. Concepto y evolución

2.1 Concepto

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 o proceso, 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), de ahí que se considere una opción idónea para valorar posibles alternativas de un mismo proyecto. Desde la lógica de los actuales métodos e instrumentos utilizados en el campo de la evaluación ambiental de la movilidad urbana (Ness et al, 2007), los sistemas de evaluación del rendimiento ambiental (en adelante, SERA) se diferencian sustancialmente de éstos primeros en dos aspectos: (i) Operan sobre el funcionamiento de la movilidad y no necesariamente sobre sus posibles consecuencias ambientales en términos de impacto; (ii) Aunque se basan en el uso de indicadores ambientales, no son un sistema de monitorización, entre otras cosas porque su enfoque es fundamentalmente prospectivo y no retrospectivo.

Respecto de la primera de las observaciones realizadas, cabe indicar que la mayor parte de las técnicas de evaluación ambiental utilizadas en el campo de la movilidad urbana están orientadas hacia la idea de impacto ambiental desde diferentes enfoques conceptuales, tales como: acción proyectual (Ej. EIA), decisión estratégica (Ej. EAE) o alcance temporal (Ej. Análisis Coste Beneficio, Análisis de Vulnerabilidad Ambiental, etc.). El impacto ambiental en su versión más convencional podría considerarse como aquella “alteración que introduce una actividad humana en su entorno”, de manera que basado en la relación causal acción-impacto, es de gran utilidad para diseccionar las posibles consecuencias ambientales de un proyecto o plan determinado. El problema se produce cuando se quiere no solo evaluar el efecto de un plan o proyecto, sino diagnosticar cómo funciona desde un punto de vista ambiental, lo cual

puede ser fundamental en el caso de sistemas complejos como la movilidad urbana. Para ello, el concepto de rendimiento ambiental puede ser más idóneo. El sentido que cobra la evaluación es una de las diferencias más destacadas entre impacto y rendimiento, mientras que 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). Otra diferencia importante entre ambos conceptos tiene que ver con los resultados derivados de la evaluación, mientras el impacto ambiental informaría sobre el grado de transformación que se produce en el entorno, el rendimiento daría información en términos de eficacia y eficiencia ambiental. Finalmente, señalar que las evaluaciones basadas en el impacto inciden sobre una visión individualizada de los efectos ambientales, mientras que las evaluaciones basadas en el rendimiento además suelen incorporar una visión de conjunto.

En relación con la segunda de las observaciones, los SERA se sustentan a nivel instrumental sobre indicadores ambientales, pero se diferencian de sistemas de monitorización propiamente en lo que respecta al carácter retrospectivo de éstos. Durante los últimos años, multitud de instituciones públicas y centros de investigación han diseñado y proporcionado indicadores vinculados a la promoción de una movilidad urbana más sostenible. Algunos ejemplos significativos a nivel institucional son el sistema de indicadores propuesto por la Comisión Europea para monitorizar la Estrategia Europea de Desarrollo Sostenible, incluyendo entre sus ámbitos de evaluación el transporte y la movilidad (EC, 2009; EUROSTAT, 2009) o, también, la Agencia Europea de Medio Ambiente, que publica anualmente desde el año 2000 su sistema de indicadores TERM (EEA, 2009).

A nivel académico destacan, por ejemplo, los trabajos desarrollados desde el Victoria Transport Policy Institute³, 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). Las ventajas o aspectos positivos de los trabajos previamente citados, en especial de aquellos vinculados a sistemas de monitorización ambiental, es que son de gran valor 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 afectación ambiental de cuestiones territoriales y urbanas complejas. Al mismo tiempo, sus principales limitaciones estarían relacionadas con sus problemas a la hora de valorar intervenciones específicas sobre el medio urbano, ya que sus resultados están más vinculados a la identificación y valoración de grandes tendencias. Para informar sobre esto último, 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 ser aplicados 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 indicadores ambientales basados en la monitorización como los arriba descritos, respecto de un SERA. Algunas de las diferencias más importantes 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

³ Más información en: <<http://www.vtqi.org>>.

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. En este sentido, 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 a valorar, pudiendo ser de gran utilidad para la selección de alternativas (Tabla 1).

Tabla 1. **Sistemas de evaluación del rendimiento vs sistemas de monitorización**

Sistemas de Evaluación del rendimiento	Sistemas de Monitorización
<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.

2.2 Evolución de los sistemas de evaluación del rendimiento

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 de los años 80 hasta nuestros días (Diana y Daraio, 2010). Inicialmente se basaron 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 ocupan de 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 y sistema de transportes, incluso incorporando en ciertas ocasiones objetivos ambientales en la evaluación. El éxito y consolidación de tales sistemas de evaluación respondió en buena medida al apoyo recibido por agencias gubernamentales como la de Estados Unidos, gran impulsor de los sistemas de evaluación del rendimiento a partir de la adopción en 1993 de la *Government Performance and Results Act* (Gudmundsson, 2001). Dos ejemplos ilustrativos de lo anterior son los sistemas de evaluación del rendimiento en el ámbito

de la movilidad y el transporte propuestos por Gerike et al (2010) y López (2007). El primero de ellos hace referencia a un sistema de evaluación del rendimiento desarrollado para el caso específico del sistema de transporte alemán (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 (grado de afección a la salud humana). El segundo ejemplo citado es una 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 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.

Desde finales de los 90 y como consecuencia de la creciente incorporación de la dimensión ambiental al campo de la movilidad urbana, los sistemas de evaluación del rendimiento evolucionan incorporando objetivos ambientales como un aspecto destacado en su diseño. Algunos ejemplos de sistemas de evaluación del rendimiento que entre sus objetivos de evaluación incluyen explícitamente la sostenibilidad ambiental son el Key Performance Indicators system 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 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 Joint Research Center (Dobranskyte, 2007) cuyo objetivo es evaluar el rendimiento ambiental de los diferentes sistemas y programas de movilidad y transporte en la Unión Europea.

La evolución de tales técnicas de evaluación ha llevado a la aparición de sistemas de evaluación del rendimiento específicamente basados en la evaluación ambiental de la movilidad urbana, lo que aquí ha sido denominado como SERA. Algunos ejemplos que son especialmente representativos para este artículo, esencialmente por 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 son, por ejemplo, el modelo propuesto en el Oregon Department of Transportation (en adelante, ODOT), 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 (ODOT, 2007). 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 (en adelante, VTTrans). En este sentido, el modelo de evaluación del rendimiento ambiental de la movilidad pública en vías urbanas desarrollado en el Florida Department of Transportation (en adelante, FLDOT) se aproxima al enfoque principal de este artículo respecto de los indicadores utilizados y los bloques de evaluación previstos (Peyrebrune, 2000), al igual que ocurre con el modelo *EVALUAMET* respecto de la modelización del consumo de recursos y emisión de residuos por parte del parque de vehículos privados (López et al, 2012).

3. Un SERA para el caso de un corredor de movilidad en el área metropolitana de Granada

3.1 Un corredor de movilidad en el área metropolitana de Granada

Durante los últimos 30 años, los procesos de metropolitanización en la Comarca de la Vega de Granada (España) han reforzado una espiral de interdependencia entre los municipios que la conforman, en parte traducidos en crecientes flujos de viajes, especialmente en sentido corona de municipios-capital. A pesar de la creación del Consorcio de Transportes Metropolitanos 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, alteraciones en el paisaje tradicional de la región, etc.

Ante este panorama, las instituciones competentes debaten sobre implementar un sistema de metro ligero en el principal corredor de movilidad de la región (Tabla 2), utilizando a éste como instrumento impulsor de nuevas pautas de movilidad (Valenzuela et al, 2011). El corredor lo conforman 4 municipios: Albolote, Armilla, Granada y Maracena (Figura 1).

Tabla 2. Proyecto de metro ligero en el área metropolitana de granada

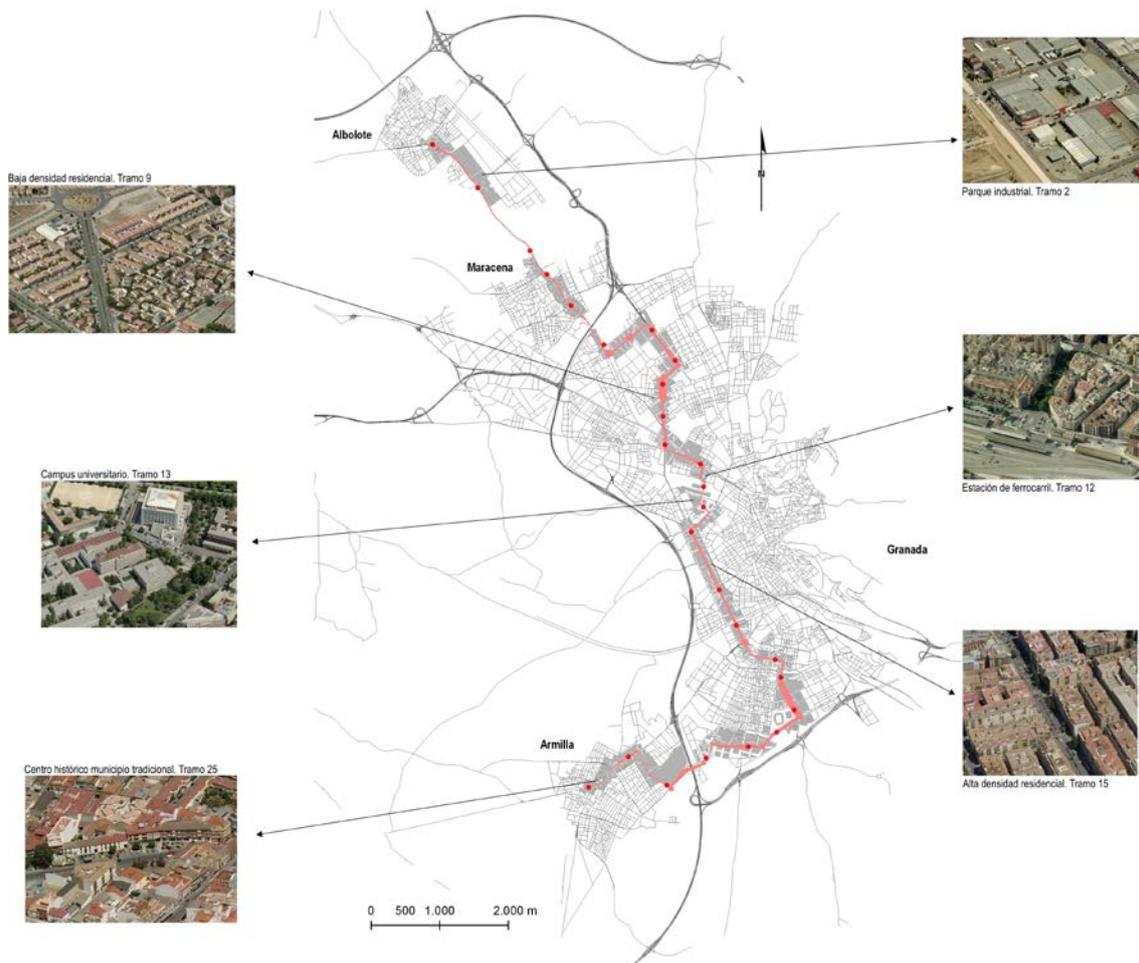
Metro ligero en el Área Metropolitana de Granada	Nº de líneas	Longitud total (m.)	Nº de paradas	Estimación de viajeros (mill/año)	Población servida	Duración
	1	15.923	26	12.9	138.248	45'

Fuente: Elaboración propia a partir de la Consejería de Obras Públicas y Transportes (2011).

En este contexto, la Universidad de Granada recibe el encargo de emitir un informe que evalúe desde un punto de vista ambiental dos posibles alternativas para el corredor⁴: (i) Alternativa S.0, relativa a mantener el corredor sin implantar el sistema de metro ligero; (ii) Alternativa S.1, relativa a realizar una reordenación viaria y de los sistemas de transporte del corredor como consecuencia de implantar dicho sistema de metro ligero. En respuesta a esta demanda, desde la Universidad se diseña un SERA para el caso específico de corredores de movilidad urbana que posteriormente se aplica a las dos alternativas mencionadas.

⁴ Este encargo se llevó a cabo entre Junio de 2010 y Octubre de 2011 dentro del Proyecto de Investigación: P09-RNM-5394: "Guía Metodológica para la Integración Metropolitana Sostenible de los Sistemas de Metro Ligero (INTEGRA-ME)".

Figura 1. Corredor de movilidad en el área metropolitana de granada



Fuente: Elaboración propia.

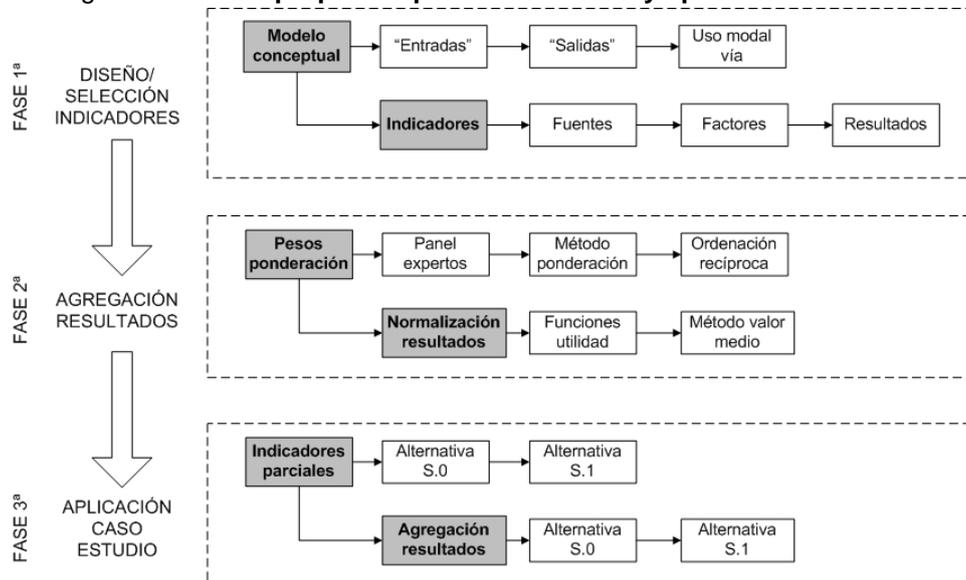
3.2 Diseño de un SERA para corredores de movilidad urbana

El SERA desarrollado se compone de las 3 fases siguientes: (i) Diseño y selección de indicadores; (ii) Agregación de resultados de cada indicador; (iii) Aplicación sobre diferentes alternativas del caso de estudio. La Figura 2 sintetiza el proceso descrito. Antes de detallar cómo completar cada una de las fases del SERA, conviene apuntar algunas consideraciones previas:

- La evaluación debe contemplar el funcionamiento ambiental del corredor de movilidad desde diferentes puntos de vista, a la vez que se emita un valor agregado o de rendimiento ambiental global.
- La evaluación se orienta hacia las externalidades ambientales negativas de cada una de las alternativas del corredor tales como el uso de energía y recursos, la emisión de residuos y la utilización modal del espacio viario.

- El SERA comparará las diferentes alternativas desde un enfoque basado en la movilidad motorizada, dado que tanto el corredor como las alternativas a evaluar se orientan predominantemente a tales modos de desplazamiento.

Figura 2. Método propuesto para el desarrollo y aplicación del SERA



Fuente: Elaboración propia.

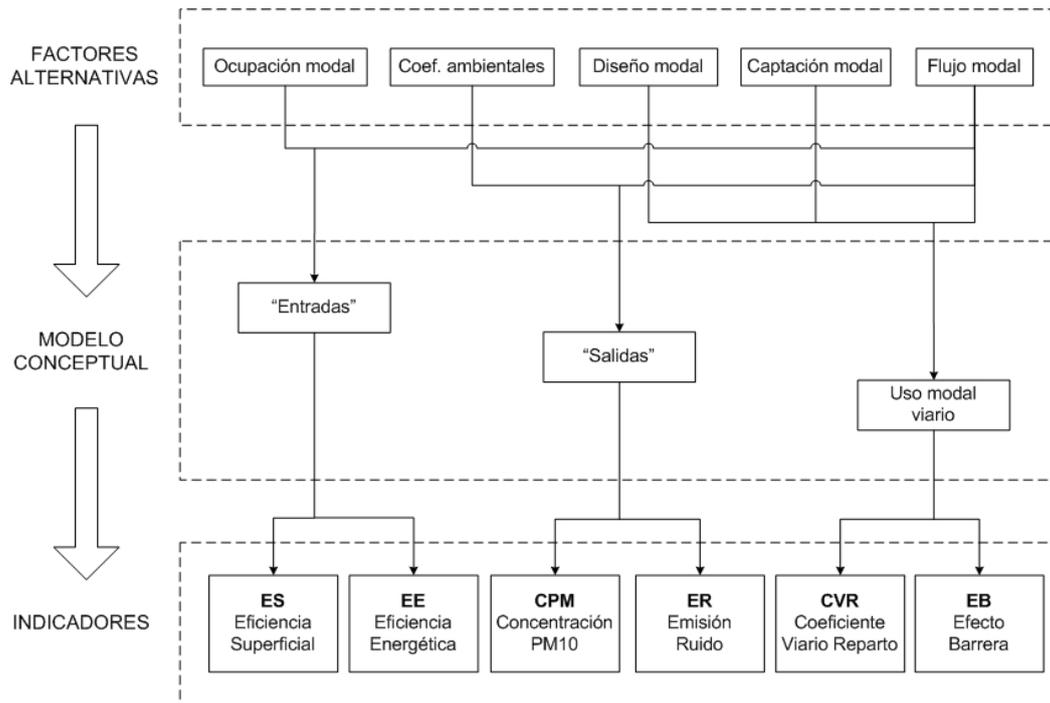
A - Fase 1. Diseño y selección de indicadores

De acuerdo a lo expuesto en el apartado 2, el conjunto de indicadores que debe componer el SERA tendría que tratar de medir distintas dimensiones relacionadas con el funcionamiento ambiental de la movilidad en el caso específico de corredores urbanos. Para ello se plantea un modelo conceptual de evaluación que asume de partida 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. Por otro lado, dicha movilidad también presenta una serie de externalidades negativas a nivel ambiental, que constituirán el núcleo central de la evaluación. En consecuencia, el sistema de indicadores se desarrollará sobre los tres bloques siguientes (Figura 3):

- 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 de corredor utilizado por la movilidad motorizada.
- 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.
- 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.

De este modo se seleccionan 6 indicadores relacionados (ver descripción detallada en la Tabla 3) con cada uno de los tres bloques previamente descritos (Figura 3). Una descripción más detallada de la selección de indicadores, de los coeficientes ambientales utilizados y de su aplicación práctica puede ser consultada en Soria-Lara (2011).

Figura 3. **Relación entre factores de cada alternativa, modelo conceptual de evaluación e indicadores propuestos**



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Indicadores del sistema de rendimiento ambiental propuesto

	INDICADORES	VARIABLES	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
"Entradas"	Eficiencia energética de la movilidad (EE)	$EE_s = \frac{\sum C_i f_{ij}}{V_i}$	M/Viajero-Km	Expresa los megajulios (MJ) utilizados por viajero-Km en cada una de las dos alternativas
	Eficiencia superficial de la movilidad (ES)	$ES_s = \frac{\sum S_{ij}}{V_i}$	m ² via/viajero-Km	Expresa los m ² utilizados por viajero-Km en cada una de las dos alternativas
"Salidas"	Concentración de PM ₁₀ (CPM ₁₀)	$CPM_{10} = \frac{1}{2} [C_1 (Bartrv.) + C_2 (Sotav.)]$ $C_1 (Bartrv.) = \frac{KN_i q_i / 3.6}{(u + 0.5) [(z^2 + z')^{0.5} + 2]}$ $C_2 (Sotav.) = \frac{KN_i q_i / 3.6}{W(u + 0.5)}$ <p>Se utiliza el modelo "Street Canyon" recomendado por la UE</p>	µg/m ³	La elección de PM ₁₀ frente a otros posibles contaminantes atmosféricos se debe fundamentalmente a que uno de sus principales focos de emisión es el tráfico motorizado (coches y autobuses)
	Emisión de ruido (Lden) (ER)	$LA_{eq} = 53 + 10 \log(N_i + EN_{ip}) - 10 \log(\alpha) + K_s + K_p$ $LA_{eq} = 53 + 10 \log(N_i + EN_{ip}) - 10 \log(\alpha) + K_s + K_p$ <p>Método nacional francés "NMPB-Routes-96"</p>	dB(A)	Al igual que para la concentración de PM ₁₀ , su elección está relacionada a que su principal fuente en el medio urbano es el tráfico rodado.
Uso modal viario	Coefficiente viario de reparto (CVR)	$CVR_s = \frac{C_s}{P_s}$	m ² sección/m ² acera	La distribución del espacio viario respecto de la movilidad no motorizada.
	Efecto barrera (EB)	$EB_s = \left[\sum C_i f_{ij} \right] W_s / 100$	EB/m vía	La impedancia que tienen los peatones para cruzar la vía en cada alternativa

Fuente: Elaboración propia.

B - Fase 2. Agregación de resultados

La segunda etapa metodológica está vinculada a la obtención de un resultado agregado de todos los indicadores que conforman el SERA, cuyo resultado será indicativo del rendimiento ambiental global del corredor para cada alternativa. Para ello será necesario: (i) Ponderar cada uno de los indicadores de rendimiento previamente descritos; (ii) Normalizar los resultados de cada indicador; (iii) Agregar los resultados normalizados en función de su peso ponderado.

Inspirado en trabajos como Shiftan et al (2003) y Landeta (2006), se utilizará un panel de expertos como instrumento para obtener un peso ponderado de cada indicador, basado en valorar la prevalencia de unos indicadores sobre otros en relación con el rendimiento ambiental global. El objetivo será que cada experto ordene los indicadores presentados en función de cuánto piensa que son de determinantes para el rendimiento ambiental global del corredor. A partir de los resultados obtenidos, se utilizará el *método de ordenación recíproca* para obtener la ponderación de cada uno de ellos (Ecuación 1).

Ecuación 1. Factor de ponderación de cada factor

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

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;

r_k hace referencia al valor acumulado de orden basado en tales respuestas.

El siguiente paso metodológico a realizar con el fin de agregar los resultados obtenidos en cada indicador es el de normalizar tales resultados. El método seleccionado para la 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.

La estimación de tales *funciones de transformación* se realizará usando la técnica del *valor medio*, que implica los siguientes pasos: (i) 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; (ii) Estimar el valor medio del rango de valores, dándole un valor normalizado de 0,5; (iii) 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*.

Finalmente, se procederá a la agregación de los resultados propiamente. Para ello se utilizará un sistema de elección multiatributo basado en las funciones de transformación o utilidad previamente calculadas para cada indicador (Gómez y Barredo, 2005; Malczewski, 1999) (Ecuación 2).

Ecuación 2. Rendimiento ambiental global

$$U_s = 1 - \left[\sum_j w_j u_{sj} \right]$$

Donde,

U_s hace referencia al rendimiento ambiental global para la alternativa S;

W_j expresa el peso de ponderación estimado para cada indicador j;

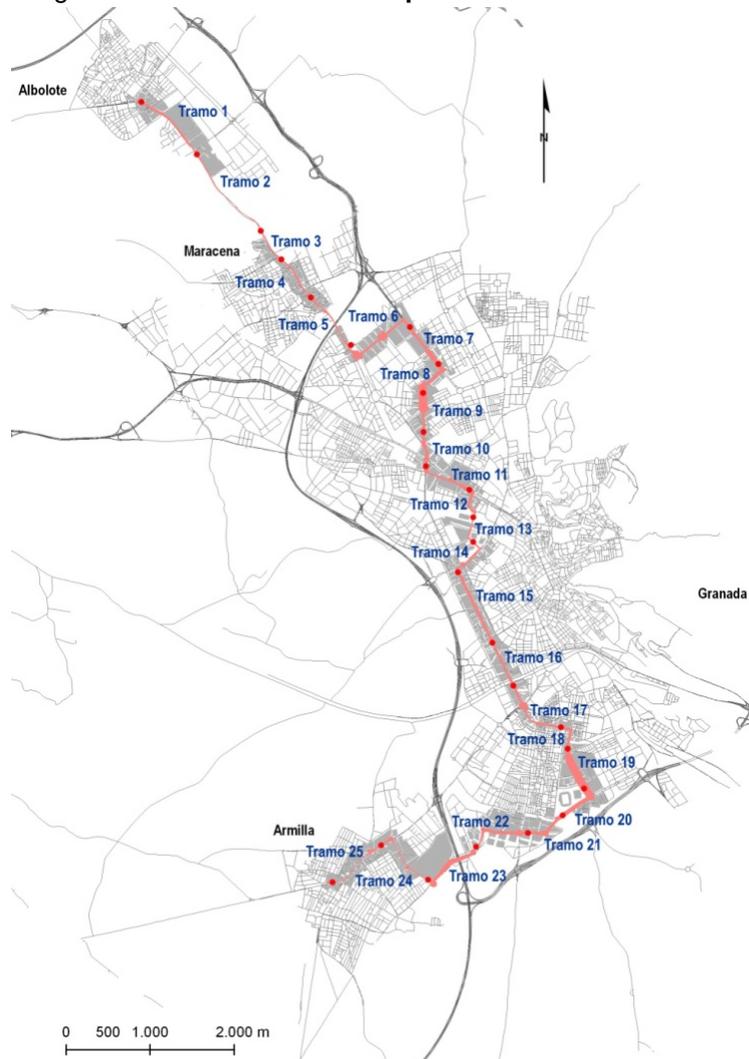
u_{sj} equivale al valor normalizado de cada indicador j para cada alternativa S.

C - Fase 3. Aplicación al caso de estudio

Tal y como se he comentado previamente, la aplicación al caso particular de estudio implica la estimación del rendimiento ambiental de dos posibles alternativas, la alternativa S.0 que consiste en mantener el corredor como se encontraba en el año 2008, y una segunda alternativa que sería la resultante de ejecutar el proyecto de implantación del sistema de metro ligero de Granada (alternativa S.1). Con el fin de sistematizar la aplicación del SERA, el corredor y cada una de sus alternativas han sido divididos en 25 tramos (ver Figura 4). La idoneidad de dividir el corredor en tales tramos obedece a las siguientes razones:

- 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 estructurador del contexto metropolitano.

Figura 4. Tramos del corredor para la evaluación de alternativas



Fuente: Elaboración propia.

4. Un SERA para el caso de un corredor de movilidad en el área metropolitana de Granada

4.1 Resultados parciales

La aplicación del SERA a las dos alternativas que contemplan el caso de estudio dejan ver en primera instancia que los indicadores responden al objetivo principal del SERA, evaluar el funcionamiento de cada alternativa tanto desde un punto de vista parcial y vinculado a cada uno de los bloques de evaluación contemplados en el modelo conceptual previamente expuesto (*Entradas; Salidas; Uso Modal del Corredor*), así como también desde una perspectiva global y agregada. La Tabla 4 recoge los resultados parciales obtenidos para cada indicador por alternativa y tramo.

Respecto del bloque de evaluación relacionado con el uso de energía y otros recursos en el corredor (*entradas*), los dos indicadores utilizados (eficiencia energética, en adelante EE, y eficiencia superficial, en adelante ES, de la movilidad urbana) dejan ver como la alternativa S.1 parece tener una mayor funcionalidad ambiental que la alternativa S.0. En el caso específico de la EE, los resultados muestran que el valor medio de los Mega julios (en adelante, MJ) consumidos por viajero-Km para el total de tramos corresponden en la alternativa S.0 a 0,83 MJ/viaje-Km y en la alternativa S.1 a 0,58 MJ/viaje-Km. Del mismo modo, el indicador ES alcanza valores medios por tramo de 1,30 m²/viaje-Km en la alternativa S.0 y de 0,87 m²/viaje-Km en la alternativa S.1.

De todos los indicadores utilizados en el SERA, los relativos al uso de energía y otros recursos son los que muestran una relación más evidente con los cambios en la coexistencia modal viaria de las alternativas analizadas. Por ejemplo, en aquellos tramos donde los niveles de coexistencia modal viaria permanecen inalterados entre las dos alternativas evaluadas (tramos 15, 16 y 17), en ningún caso se produce una mejora ni tanto de los MJ/viaje-Km como de los m²/viaje-Km. Esto se debe a que la alternativa S.1 contempla que el metro ligero transcurra soterrado por estos tramos del corredor sin que esto afecte al tráfico rodado existente. Por el contrario, en aquellos casos en los que existe una mejora muy evidente de los niveles de coexistencia modal viaria, siempre se produce una mejoría en los resultados de ambos indicadores. Esta cuestión permitió detectar un aspecto relevante para técnicos competentes y planificadores que trabajan en el corredor, incrementar los niveles de coexistencia modal viaria entre las alternativas contempladas, parece ser la mejor solución de aumentar la eficiencia de la movilidad urbana, tanto en términos energéticos como superficiales.

El segundo de los bloques recogidos dentro del SERA hace referencia a la emisión de residuos o desechos por parte de las distintas alternativas del corredor (*Salidas*). Los dos indicadores que conforman este bloque son la concentración de PM10 (en adelante, CPM10) y la emisión de ruido (en adelante, ER). En promedio, para el total de tramos del corredor, la opción representada por la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 supondría una disminución en la concentración de PM10 del 31%, ya que el valor obtenido en la alternativa S.0 es de 13,74 µgr/m³ y el obtenido en la alternativa S.1 es de 10,89 µgr/m³. En esta misma dirección, en la alternativa S.1 se obtendría una menor emisión de ruido que en la alternativa S.0 con valores de 70,65 db(A) y 68,8 db(A) respectivamente.

La calidad ambiental del corredor depende en gran medida de los resultados de estos indicadores, ya que ambos son condicionantes del nivel de confort que existirá en éste tras la implantación de alguna de las alternativas evaluadas. Desde este punto de vista convendría señalar que la alternativa S.1 a priori parece inducir una mayor calidad ambiental que la alternativa S.0, lo que puede ser importante para dotar al corredor de mayores espacios de relación social, ocio y estacionamiento por parte de peatones y usuarios de modos de transporte no motorizados.

Tabla 4. Resultados parciales obtenidos para cada indicador

Tramo	Alternativa S ₀						Alternativa S ₁					
	EE	ES	CPM ₁₀	ER	CVR	EB	EE	ES	CPM ₁₀	ER	CVR	EB
1	0,61	3,85	2,86	68,90	2,32	0,32	0,77	6,70	1,40	68,00	2,31	0,28
2	0,75	1,84	6,00	71,40	2,67	0,35	0,46	3,18	3,32	68,00	1,66	0,40
3	0,80	1,27	9,41	73,00	2,79	0,26	0,54	1,01	5,05	69,00	1,78	0,32
4	0,80	1,94	5,59	72,70	2,50	0,28	0,41	0,82	3,05	70,00	2,65	0,15
5	0,69	1,52	3,24	73,20	1,31	0,24	0,32	0,95	1,63	71,00	2,44	0,12
6	1,22	1,63	7,04	67,30	1,49	1,78	0,81	1,19	6,30	70,00	2,02	1,03
7	0,81	0,60	15,68	73,70	1,69	3,55	0,61	0,32	14,07	71,00	1,92	2,93
8	1,15	2,21	7,51	69,50	1,91	1,80	0,52	0,41	6,04	70,00	2,05	1,43
9	1,53	1,02	16,26	70,30	1,59	4,76	0,91	0,45	14,47	68,00	1,75	4,01
10	0,69	0,42	27,46	71,90	2,08	6,07	0,55	0,16	24,60	70,00	2,24	3,96
11	0,49	0,27	23,71	76,30	1,95	2,09	0,38	0,15	21,96	76,00	2,10	0,80
12	0,52	6,00	20,43	65,40	2,03	2,47	0,36	0,35	16,13	74,00	1,41	1,26
13	0,13	0,02	2,35	49,03	1,58	0,09	0,17	0,09	2,33	50,01	1,56	0,11
14	0,79	0,35	23,87	73,90	1,93	4,53	0,58	0,19	18,61	68,00	1,94	3,35
15	0,79	0,34	28,14	77,90	2,54	6,39	0,78	0,34	18,71	66,00	2,00	5,28
16	0,68	0,31	26,32	78,20	2,59	4,53	0,69	0,24	16,30	66,00	2,17	4,01
17	0,59	0,23	36,48	73,50	2,62	4,18	0,61	0,20	25,51	71,00	2,52	2,42
18	0,76	0,37	16,03	70,30	2,11	2,89	0,68	0,23	12,19	68,00	2,67	2,46
19	0,81	0,89	6,05	65,50	1,40	2,92	0,63	0,45	5,48	66,00	1,54	2,78
20	0,57	1,12	5,84	64,30	1,65	1,42	0,43	0,61	6,25	66,00	2,69	1,23
21	0,54	0,75	8,12	65,80	1,73	1,09	0,39	0,42	8,61	71,00	2,41	1,07
22	0,79	1,01	10,46	71,80	2,09	1,38	0,57	0,79	10,65	71,00	2,79	1,20
23	2,36	1,53	16,75	73,40	1,93	1,60	0,97	1,26	14,63	72,00	1,66	1,15
24	1,04	1,40	11,87	73,60	2,87	0,44	0,76	0,93	10,39	70,00	2,04	0,26
25	1,04	1,72	8,33	74,60	2,38	0,39	0,79	0,53	6,92	70,00	1,37	0,09

EE: MJ/viajero-Km; ES: m²vía/viajero-Km; CPM₁₀: µgr/m³; ER: dB(A); CVR: m² sección/m² acera; EB: EB/m vía

Fuente: Elaboración propia.

El tercer bloque de evaluación incluido en el SERA era relativo al *uso modal del corredor*. Son dispares los resultados obtenidos para los dos indicadores que conforman este bloque, el coeficiente viario de reparto (en adelante, CVR) y el efecto barrera (en adelante, EB). El CVR a diferencia del resto de indicadores del SERA permanece prácticamente inalterado entre las alternativas evaluadas, de manera que su valor promedio para el total de tramos del corredor es de 2,07 m²secc./m²peat en la alternativa S.0 y de 2,04 m²secc./m²peat en la alternativa S.1. En cambio, el CVR muestra una mejora significativa en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 pasando de 2,22 EB/m en la alternativa S.0 a 1,86 EB/m en la alternativa S.1.

En vista de los resultados obtenidos, a nivel parcial se puede extraer una lectura interesante de cara a mejorar y optimizar desde un punto de vista ambiental el funcionamiento de la alternativa S.1 relativa a implementar el sistema de metro ligero en el corredor. Por un lado, indicadores como el CPM10, ER y EB experimentan una mejora destacada en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, lo que significa que el corredor gana en calidad ambiental y en prestaciones para peatones y usuarios de modos de transporte no motorizados. Situación que es especialmente significativa cuando analizamos la reducción del EB en la alternativa S.1, pudiendo ser entendida como una menor impedancia para este tipo de usuarios de la vía y una

mayor capacidad de interacción con sistemas de transporte público como, por ejemplo, el metro ligero. En cambio, en la alternativa S.1 apenas existen incrementos en el espacio público destinado al peatón, al ocio, etc., lo que se pone de manifiesto a través de los resultados obtenidos para el indicador CVR.

4.2 Resultados agregados

Tal y como se ha explicado en el apartado metodológico, la obtención de un valor de rendimiento ambiental global para cada alternativa exigía completar las siguientes tres etapas: (i) Ponderar cada uno de los indicadores de rendimiento previamente descritos; (ii) Normalizar los resultados de cada indicador; (iii) Agregar los resultados normalizados en función de su peso ponderado.

Para completar con la primera de las fases se utilizó un panel de expertos. Dicho panel contó con una única ronda temporal de respuesta entre los meses de junio a octubre de 2010. A los expertos se les solicitó que ordenasen de mayor a menor según su 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. Fueron seleccionados 50 expertos repartidos de acuerdo a su experiencia en los siguientes cuatro bloques afines:

- 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 utilizado, la Tabla 5 contiene los pesos obtenidos para cada uno de los seis indicadores propuestos en el SERA.

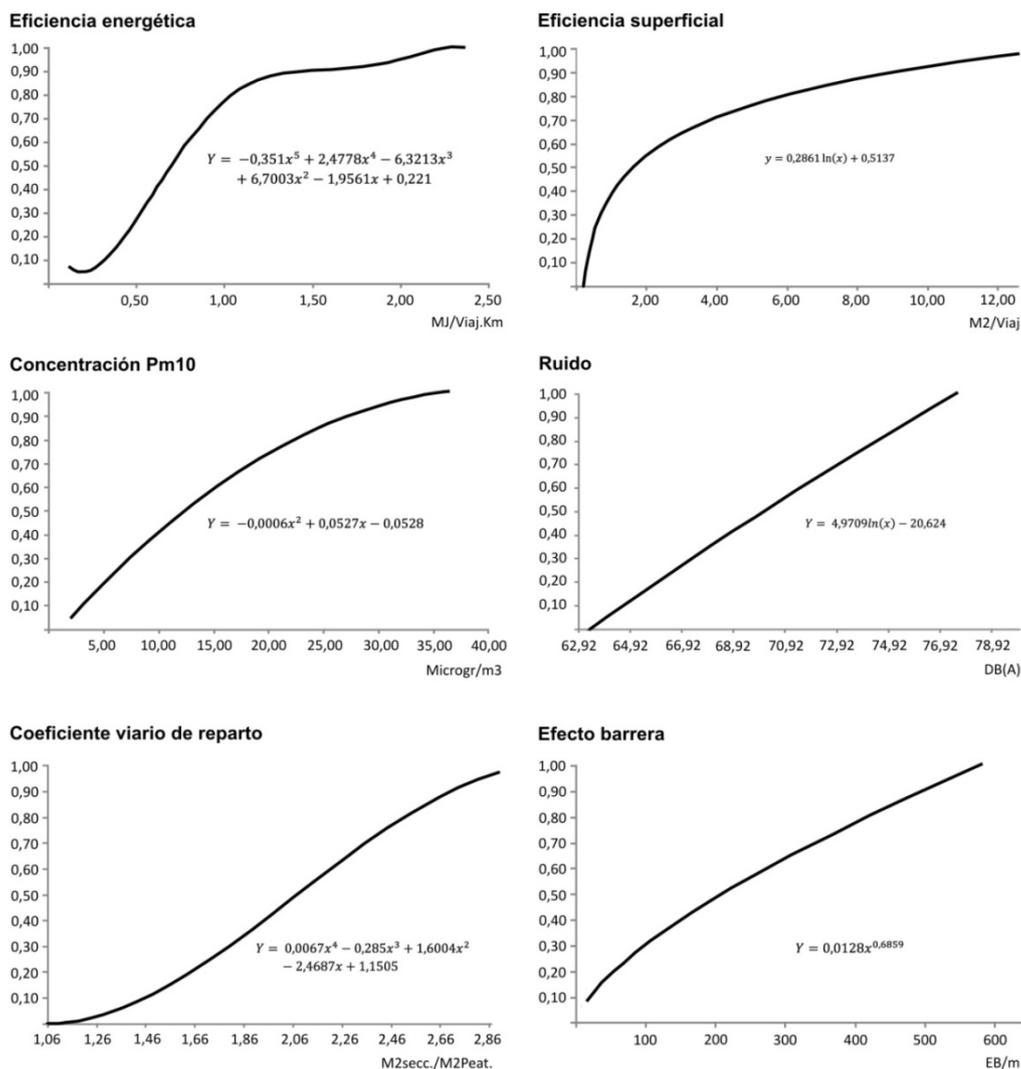
Tabla 5. Pesos normalizados de cada indicador

Bloques	Indicador	Valor medio de orden (rj)	Peso normalizado (wj)
Entradas	Eficiencia energética	3,14	0,19
	Eficiencia superficial	3,60	0,16
Salidas	ConcentraciónPM10	4,11	0,14
	Ruido	3,11	0,18
Uso modal viario	Coefficiente viario reparto	3,69	0,16
	Efecto Barrera	3,34	0,17

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidos los pesos ponderados, la siguiente fase de agregación se corresponde con normalizar los resultados de cada indicador. El método seleccionado para la normalización se basa en la obtención de una función de transformación o utilidad para cada uno de ellos. Se utilizó el método del *valor medio*. 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 (Figura 5 y Tabla 6).

Figura 5. Funciones de transformación estimadas para cada indicador



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Resultados normalizados (0-1) para cada indicador, alternativa y tramo

Tramo	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

EE: MJ/viajero-Km; ES: m²vía/viajero-Km; CPM₁₀: µgr/m³; ER: dB(A); CVR: m² sección/m² acera; EB: EB/m vía

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los pesos ponderados y los resultados normalizados se obtuvo un valor agregado de rendimiento ambiental para cada tramo del corredor (Tabla 7). A pesar de que a nivel parcial todos los indicadores utilizados en el SERA, con excepción del CVR, se manifestaban claramente más favorables en la alternativa S.1 que en la alternativa S.0, esa diferencia no apareció de forma tan evidente al obtener el valor de rendimiento ambiental global. La alternativa S.1 continuaba siendo la alternativa con mayor funcionalidad ambiental para el corredor, dado que su rendimiento ambiental promedio fue equivalente a 0,67 respecto al 0,58 obtenido para la alternativa S.0, en cambio las diferencias apreciadas a nivel parcial no fueron tan contundentes en esta etapa de la evaluación. El principal motivo parece obedecer a la dotación de espacio público en los diferentes tramos del corredor. Al contabilizar de forma agregada los diferentes indicadores, el hecho de que la alternativa S.1 no mejore fuertemente su dotación de espacio público condiciona los resultados obtenidos en al menos cuatro indicadores: el CVR (de manera directa y determinante), el EB, la CPM10 y la ER. A la vista de estos resultados, se recomendó la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, recomendando ciertas modificaciones orientadas a incrementar la dotación de espacio público como factor que permitiría, no solo aumentar la funcionalidad ambiental de la alternativa seleccionada, sino también porque permitiría inducir un efecto sinérgico en otros muchos aspectos vinculados al

rendimiento ambiental del corredor, como por ejemplo, en lo relativo a la emisión de residuos o desechos.

Tabla 7. Rendimiento ambiental global para los diferentes tramos del corredor

RENDIMIENTO AMBIENTAL GLOBAL (0-1)					
Tramos	S.0	S.1	Tramos	S.0	S.1
1	0,56	0,59	14	0,52	0,64
2	0,58	0,74	15	0,4	0,52
3	0,57	0,76	16	0,47	0,57
4	0,59	0,73	17	0,48	0,57
5	0,76	0,77	18	0,57	0,59
6	0,59	0,63	19	0,65	0,71
7	0,58	0,64	20	0,71	0,66
8	0,54	0,73	21	0,73	0,71
9	0,47	0,56	22	0,6	0,59
10	0,47	0,58	23	0,48	0,59
11	0,66	0,73	24	0,5	0,66
12	0,64	0,81	25	0,55	0,77
13	0,92	0,95			

Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

La complejidad de la movilidad urbana hace en muchos casos insuficientes algunas de las técnicas de evaluación ambiental comúnmente utilizadas en el proceso de toma de decisiones. Este artículo propone los SERA como instrumentos capaces de aportar luces en este sentido. Tres posibles vías de discusión se abren a tenor del ejemplo práctico utilizado para comparar dos posibles proyectos de movilidad en un corredor en el Área Metropolitana de Granada (España). Éstas tienen que ver con el hecho de que el sistema de evaluación utilizado: (i) Se enfoque a evaluar la funcionalidad ambiental del proyecto; (ii) Sea bidireccional e iterativo; (iii) Sea cuantitativo.

La primera de las líneas de discusión tiene que ver con evaluar la funcionalidad ambiental de la movilidad urbana. El hecho de que los SERA orienten la evaluación sobre cómo funciona desde el punto de vista ambiental el objeto evaluado, en este caso la implementación o no de un sistema de metro ligero en un corredor de movilidad, a diferencia de otros métodos y técnicas tradicionalmente utilizadas en el campo ambiental y cuya evaluación se centra en el entorno transformado, induce a que los posibles problemas puedan ser solucionados en origen y no de manera retrospectiva.

Por ello, de los resultados obtenidos no surgen posibles medidas correctoras o compensatorias (aspecto clásico en aquellas técnicas de evaluación vinculadas a la familia del impacto ambiental), sino que se apunta hacia qué aspectos de las alternativas evaluadas podrían contribuir a incrementar la eficiencia ambiental de la movilidad en el corredor, de tal manera que éstas puedan ser reconsideradas antes de proceder a su implementación definitiva. Esto ocurrió, por ejemplo, con el caso del espacio público, donde a pesar de recomendar la alternativa S.1 como la más favorable desde el punto de vista de su funcionalidad ambiental, se informó que su rendimiento ambiental podría ser sustancialmente mejorado reconsiderando la

dotación de tal espacio público en algunos de los tramos del corredor, esencialmente en aquellos por donde el trazado del sistema de metro ligero transcurría soterrado (tramos 15, 16 y 17).

Otra ventaja importante que deriva de enfocar la evaluación a la funcionalidad del proyecto de movilidad tiene que ver con conocer qué prácticas utilizadas en el diseño de las distintas alternativas tienen una repercusión más positiva sobre el rendimiento ambiental del corredor. De este modo, el planificador o técnico competente puede detectar con cierta facilidad cuáles de las decisiones tomadas son más positivas de cara a reconsiderar y optimizar la opción finalmente seleccionada. A modo de ejemplo, el SERA diseñado indicaba que una mayor coexistencia modal viaria parecía ser la medida más determinante de cara a incrementar la eficiencia ambiental del corredor, tal y como se puede comprobar en los resultados obtenidos para los indicadores relativos al bloque de *uso de energía y otros recursos*, por encima de otras variables vinculadas, por ejemplo, al transporte de viajeros.

La segunda novedad que introduce el SERA en el campo de la evaluación ambiental de la movilidad urbana tiene que ver con su carácter multiescalar e iterativo. Conceptualmente los resultados obtenidos pueden ser interpretados desde diferentes puntos de vista en función de los objetivos establecidos. De este modo, puede interesar analizar la repercusión de un indicador específico sobre la globalidad del corredor, profundizando sobre qué tipo de estrategias permitirían optimizar los resultados de este indicador de manera global o, por el contrario, puede interesar detenerse tramo a tramo y diagnosticar de forma íntegra su rendimiento ambiental a partir de los diferentes indicadores considerados. Igualmente, el rendimiento ambiental puede interpretarse desde lo parcial (por indicador y bloque temático) a lo global (rendimiento ambiental agregado) o viceversa. Esta primera opción es más conveniente para expertos en la ciencia ambiental, capaces de establecer relaciones causales de las dinámicas ambientales que ocurren en el corredor sin necesidad de acudir necesariamente a un indicador agregado o sintético, mientras que entender los resultados desde lo global a lo parcial es recomendable para expertos en otros campos de trabajo no vinculados a la temática ambiental pero que intervienen en la toma de decisiones. Esta bidireccionalidad en la evaluación permite a los técnicos competentes trabajar con la flexibilidad y precisión necesaria para alcanzar la mayor funcionalidad ambiental posible de las diferentes alternativas de movilidad consideradas inicialmente.

El carácter cuantitativo de la evaluación es la tercera ventaja destacada de la utilización de un SERA respecto de otros métodos convencionales en el caso de proyectos de movilidad urbana. Por un lado, contar con un sistema de evaluación cuantitativo facilita enormemente la comparación de alternativas, ya que permite establecer niveles de compensación entre unas y otras. Además, en sistemas de evaluación cuantitativos es más sencillo obtener un valor agregado o global, que a su vez facilita la interpretación de los resultados obtenidos a otros profesionales que no son especialistas en el campo ambiental, lo que refuerza una mayor dimensión proactiva de la evaluación realizada. El problema de obtener un valor agregado de rendimiento es cómo establecer prioridades entre los diferentes indicadores utilizados. El uso de paneles de expertos, cuestionarios, valoraciones económicas de las externalidades ambientales, etc., pueden ser métodos adecuados para ello. En el caso particular de este artículo se utilizó un panel de medio centenar de expertos agrupados en diferentes grupos temáticos por afinidad profesional.

El diseño de un SERA para comparar alternativas en corredores de movilidad urbana ha permitido detectar posibles vías de progreso sobre las que continuar la investigación. En este sentido, el desarrollo de métodos que complementen a tales SERA a partir de la adopción de umbrales ambientales puede suponer uno de los principales avances para estas técnicas de evaluación, especialmente de cara a fomentar su funcionalidad y precisión. Tales umbrales ambientales enriquecerán la evaluación en la medida y permitirán no solo determinar qué alternativa tiene un mayor rendimiento ambiental, sino cuánto de positivo es ese mayor rendimiento ambiental. Además la adopción de umbrales ambientales abre un campo de investigación importante vinculado a los SERA y relativo a aplicar métodos de sensibilidad para diagnosticar qué variables influyentes en el diseño de cada una de las alternativas evaluadas (circulación de modos de transporte, viajeros transportados, superficie modal viaria, etc.) son más influyentes sobre su rendimiento ambiental, lo que servirá para incrementar notablemente la utilidad de estas herramientas en la toma de decisiones

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el Proyecto “INTEGRA-ME. Guía metodológica para la integración metropolitana sostenible de los sistemas de Metro Ligero” REF. P09-RNM-5394. Convocatoria de Proyectos de Investigación de Excelencia de la Junta de Andalucía, España.

Bibliografía

ARCE, R.M. et al. *Los sistemas de información geográfica aplicados a la evaluación ambiental de la planificación*. En: *Ciudad y Territorio: Estudios Territoriales*, (165 - 166): 514-528, 2010.

ADAMS, J. *Transport Planning: Vision and practice*. Londres, Routledge and Kegan Paul, 1981. 272 p.

BANISTER, D. *Unsustainable transport: City transport in the new century*. Londres, Routledge. 2005. 292 p.

BANISTER, D. y BUTTON, K. *Transport, the environment and sustainable development*. Londres, E & F N Spon, 1992. 275 p.

BARRERO, J. y MARTINEZ-VILANOVA, J. *Transporte urbano y consume energético*. En: *Revista Ciudad y Territorio*, (2): 73-82, 1980.

BERTOLINI, L. et al. *Urban planning in transition*. En: *Transport policy*, (2): 69-72, 2008.

BREHENY, M. y ROOKWOOD, R. *Planning the sustainable city region en Blowers (Ed) Planning for a sustainable environment (Report)* Londres, Earthscan, 1993, pp: 150-189.

BRONS, M. et al. *Efficiency of urban public transit: A meta-analysis*. En: *Journal of Transportation*, (32): 1-2, 2005.

- BUCHANAN, C. *Traffic in towns*. Harmondsworth, Penguin Books, 1963. 259 p.
- BURNETT, K.P. y HANSON, S. *An Analysis of Travel as an example of Complex Human Behavior in Spatially Constrained Situations*. En: Transportation Research, (16A), 1982.
- CEC. Commission of the European Communities. *Sustainable mobility: Green paper on the impact of transport on the environment* [COM 92 (46)] Brussels, CEC, 1992.
- CRESPO, M. *Dificultades mutuas del planeamiento urbanístico y sectorial*. En: Revista Ciudad y Territorio, (91-92): 11-19, 1992.
- DE BORGER, B. et al. *Public transit performance: What does one learn from frontier studies?* En: Journal of Transport Reviews, 22 (1): 1-38, 2002.
- DIANA, M. y DARAIO, C. *Performance indicators for urban public transport systems with a focus on transport policy effectiveness issues*. En: World Conference on Transport Research, (WCTR, Lisboa 2010). Paper. Lisboa, World Conference on Transport Research, 2010, pp: 258.
- DIX, M.C. y GOODWIN, P.S. *Petrol prices and car use: a synthesis of conflicting evidence*. En: Transport Policy Decision Making, (2): 179-195, 1982.
- DOBRANSKYTE, A. et al. *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, 2007.
- EC. European Commission. *Mainstreaming sustainable development into EU policies: 2009 Review of the European Union Strategy for Sustainable Development* [en línea] Fecha de consulta: 25 de abril de 2010. Disponible en: <<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0400:FIN:EN:PDF>>. 2009.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. EEA. *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). 2009
- EUROSTAT. *Sustainable development in the European Union: 2009 monitoring report of the EU sustainable development strategy* [en línea] 25 de abril de 2010. Disponible en: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-78-09-865/EN/KS-78-09-865-EN.PDF>. 2009.
- GERIKE, R. et al. *Development of an environmental performance index for the German Transport System*. En: World Conference on Transport Research, (WCTR, Lisboa 2010). Paper. Lisboa, World Conference on Transport Research, 2010, pp: 452.
- GÓMEZ, M. y BARREDO J.I. *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, Ra-Ma, 2005. 279 p.

- GOODWIN, P et al. *Transport: The new Realism. Report to the Rees Jeffreys Road Fund*. Oxford, University of Oxford Transport Studies Unit, 1991. 166 p.
- GUDMUNDSSON, H. *Indicators and performance measures for Transportation, Environment and Sustainability in North America*. Copenhagen, Ministry of Environment and Energy National Environmental Research Institute. 2001. 153 p.
- FARRELL, M. *The measurement of productive efficiency*. En: Journal of the Royal Statistical Society, (120): 253-281, 1957.
- HERCE, M. *Sobre la movilidad en la ciudad: propuestas para recuperar un derecho ciudadano* (Vol. 18) Barcelona, Reverté, 2009. 328 p.
- HERCE, M.; MAGRINYÀ, F. y MIRÓ, J. *L'espai urbà de la mobilitat*. , Ediciones UPC de la Universitat Politècnica de Catalunya. 2007. 221 p.
- HERRERO, A.; MENÉNDEZ, F.; MOLINO, E.; PUIG-PEY, P. y RUBIO, J. *Consideraciones generales en torno a la política del transporte urbano*. En: Ciudad y territorio: Revista de ciencia urbana, (2): 7-19, 1980. ISSN: 0210-0487.
- LANDETA, J. *Current validity of the Delphi method in social sciences*. En: Technological Forecasting and Social Change, (73): 467-482, 2006.
- LITMAN, T. *Developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning*. Victoria (Canadá), Victoria Transport Policy Institute, 2009. 14 p.
- LÓPEZ, E. *Assessment of Transport Infrastructure Plans. An strategic approach integrating efficiency, cohesion and environmental aspects* (Tesis Doctoral) Madrid, Universidad Politécnica de Madrid. 2007. 204 p.
- LÓPEZ, R.; CATALÀ, R.; ESQUIUS, A. *SIMCAT: Sistema de Modelización de movilidad y tráfico en Catalunya: integración al modelo EVALÚAMET*. En: ACE: Architecture, City and Environment, 7 (19): 187-216, 2012.
- MALCZEWSKI, J. *GIS and multicriteria decision analysis*. New York, John Wiley & Sons, 1999. 392 p.
- METCALF, A.E. *The perception of car running costs*. Bruselas, Commission of the European Communities, 1978.
- MILLER, C. *Sustainable transportation performance indicators (STPI) project*. New York, Centre for Sustainable Transportation in cooperation with IBI Group and Metropole Consultants, 2002. 374 p.
- NESS, B. et al. *Categorizing tools for sustainability assessment*. En: Ecological Economics, (60): 498-508, 2007.

ODOT. *46 Annual Performance Progress Report - Fiscal Year 2006-07*. Oregon, Oregon Department of Transportation, 2007. 85 p.

OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. *Environmental indicators*. Paris, OECD, 1991. 223 p.

OWENS, S. *Strategic planning and energy conservation*. En: Town Planning Review, 57 (1): 69-68, 1986.

PEYREBRUNE, H.L. *Performance Measures to Improve Transportation Systems and Agency Operations: Report of a Conference*. En: Conference on Performance Measures to Improve Transportation Systems and Agency Operations, (Irvine, California, 2000). Paper. San Francisco, 2000, pp: 120-121.

POZUETA, J. *Transporte y planificación urbanística. Métodos de gestión de la demanda*. En: Revista Ciudad y Territorio, (91-92): 119-136, 1992.

RICCI, A. et al. *Assessing the performance of ITS in major cities*. En: World Conference on Transport Research, (WCTR, Lisboa 2010). Paper. Lisboa, World Conference on Transport Research, 2010.

SHIFTAN, Y. et al. *Scenario building as a tool for planning a sustainable transport system*. En: Transportation Research Part D, (8): 323-342, 2003.

SORIA-LARA, J.A. *Modelo de umbrales para la evaluación ambiental de la movilidad urbana* (Tesis Doctoral). Doctorado en Urbanismo, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. Granada (España), Universidad de Granada, 2011. 471 p.

VALENZUELA, L.M et al. *Hacia la integración de los planes y proyectos andaluces de movilidad metropolitana* [en línea] Fecha de consulta: 12 de febrero de 2013. En: Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, (XV). Disponible en: <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-349.htm>>. 2011.

WCED. World Commission on Environment and Development. *Our common future*. United Nations (UN), 1987. 416 p.

