

Dimensiones relevantes para la evaluación ambiental proactiva de la movilidad urbana

Recibido: 20 de noviembre de 2012. Aceptado en versión final 27 de octubre de 2014.

Julio A. Soria Lara*

Luis Miguel Valenzuela Montes**

Resumen. La evaluación ambiental aplicada a la movilidad urbana evoluciona en los últimos tiempos propiciando nuevos enfoques y modelos conceptuales motivados principalmente por la necesidad de obtener resultados más válidos para orientar y gestionar las decisiones sobre la movilidad urbana.

En este contexto de innovación metodológica se sitúa este artículo que considera la movilidad urbana como un ámbito de conocimiento, proyecto y planificación que resulta específico por el carácter complejo de sus impactos y la demanda de un enfoque integrado al evaluar su calidad ambiental. Las limitaciones de los enfoques, más o menos, convencionales de la evaluación ambiental, son identificadas para el caso de los proyectos de movilidad urbana, señalando fundamentos alternativos adecuados para generar modelos de evaluación proactiva. En este sentido, resulta esencial progresar de una visión constreñida basada

en el impacto ambiental a otra más compleja basada en el rendimiento ambiental.

En consecuencia, el artículo plantea las dimensiones relevantes para la evaluación ambiental proactiva de la movilidad urbana, para lo que es necesario basarse en indicadores de rendimiento ambiental que articulen un modelo de umbrales ambientales que facilite el enfoque integrado sobre diversos entornos de movilidad. Rendimiento, umbrales, entornos de movilidad y evaluación proactiva son integrados en un ejemplo de aplicación a un corredor urbano en el que se implanta un nuevo modo de transporte público (área metropolitana de Granada, España), diagnosticando opciones de gestión de la calidad ambiental de los diversos entornos de movilidad urbana articulados por el corredor en cuestión.

Palabras clave: Movilidad, proactivo, corredor, evaluación, metro ligero, umbrales.

* Amsterdam Institute for Social Science Research, University of Amsterdam (Países Bajos), Nieuwe Achtergracht 166. 1018 WV, Amsterdam (Países Bajos). E-mail: j.a.sorialara@uva.nl

** Laboratorio de Planificación Ambiental (LABPLAM), Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio, Universidad de Granada (España), ETSI Caminos, Canales y Puertos, Campus Fuentenueva SN, 18071, Granada (España). E-mail: lvmontes@ugr.es

Cómo citar:

Soria L., Julio A. y L. M. Valenzuela M. (2015), "Dimensiones relevantes para la evaluación ambiental proactiva de la movilidad urbana", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 87, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 5-24, dx.doi.org/10.14350/ig.34416.

Relevant dimensions for proactive environmental assessment of urban mobility

Abstract. A reduction of negative environmental impacts in urban transportation (air pollution, energy consumption, etc.) is thought to be crucial in promoting sustainable development outcomes in cities, however evidence shows that this objective is hardly achieved in practice. In the case of urban transport planning, the transition to sustainability requests that its performance must be assessed. This has originated important challenges for the academia in providing efficient assessment tools. As a response to these challenges, sustainability assessment has become a rapidly developing area associated with the family of impact assessment tools ((e.g. Environmental Impact Assessment and Strategic Environmental Assessment). In recent years, many countries have conferred to sustainability assessment, and specifically to Environmental Impact Assessment (EIA), an important and decisive role into their planning systems.

The effectiveness of the traditional methods for evaluating urban transport plans/interventions (e.g. EIA, EAE, Cost-Benefit Analysis) is contested as strongly argued by several academics. A key problem is that these methods currently focus too much on identifying environmental impacts that might happen rather than on finding ways of preventing them from happening. They are used reactively rather than proactively. Underlying this is the belief that traditional evaluation methods have difficulty guiding improvements in urban transport plans and projects in decision-making and their capacity to support technical decisions becomes limited. First, this is a consequence of the fact that the environmental assessment (EA) process mainly includes EA-makers and they are not integrated enough in the transport planning process. Second, the used methods not always are the most suitable to identify ways of preventing potential impacts with respect to the particular nature of urban transportation.

In seeking to answer these problems, the paper presents a strategy for proactive environmental instruments design. Accordingly to this strategy, EA instruments must fulfil two key criteria: *i*) be spatial integration-oriented; *ii*) be performance and threshold-based. The strategy is presented here as a complementary vision to traditional instruments. To illustrate and assess the worth of this strategy, the Environmental Thresholds Values Model ('ETV-model') was developed following these criteria and applied to evaluate alternative plans for a transit corridor in the city of Granada, Spain. This Spanish case is very illustrative of the described problems.

The development of ETV-Model and its application to MAG permitted to test the proactive dimension of the EA process with respect to: *i*) interaction level between EA-makers and transport planners; *ii*) the Abstraction level of the EA process with respect to traditional EA instruments; *iii*) the Role of the EA in urban transport planning;

The reduction of abstraction level from the evaluation was a highlighted aspect to foster a more holistic dimension during the process. This meant to develop an integrated conceptual framework between the EA-makers and transport planners. The identification of 'mobility environments' in the first stage of the 'ETV-model' was very significant in this respect. Under these geographical units, the involved practitioners not only established the first criteria for the evaluation, but prescriptions on the final design of alternatives were emitted by EA-makers taking into account these spatial references. The estimation of an aggregated environmental performance value was considered by transport planners as an excellent way to obtain comprehensive conclusions, as well as, the adoption of reference values facilitated the understanding of specific environmental problems of alternatives between the two focus groups.

Another highlighted aspect during the application of the 'ETV-Model' was the fact that the evaluation had a central role not only during the selection of alternatives, but also to modify the alternative selected in the last phase of the evaluation process. Since the earliest, the outcomes of the model reflected in general that Alternative S.1 had less environmental negative impact than Alternative S.0, although this statement was dependent on the 'mobility environment' considered. During the application of the ETV-model the outcomes were related to dynamics characteristics of urban transportation, covering different temporal periods and including the interaction between EA-makers and transport planners in different workshops/meetings. After analysing the two possible alternatives the decision module of ETV-model through the indicators 'Absorption capacity' and 'Improvement capacity' assessed possible changes to optimize the alternative selected (alternative S.1). The outcomes obtained oriented transport planners to modify the alternative with respect to the number of lines of public transport in the case of 'motorized traffic environment' and 'local and circulation environment', as well as, the walkable areas in the case of 'Local oriented environment'.

Key words: Mobility, proactive, corridor, assessment, light rail transit, thresholds.

INTRODUCCIÓN

Alcanzar una óptima integración ambiental de la movilidad en nuestras ciudades es un factor decisivo para lograr una mayor sostenibilidad urbana (Bannister, 2008), de ahí que sea esencial el desarrollo de instrumentos que apunten en esta dirección (Hull, 2008). De manera tradicional, la evaluación ambiental ha sido realizada a través de una serie de técnicas *ex-ante* ampliamente utilizadas como apoyo en la toma de decisiones (Browne y Ryan, 2011; Joumard y Gudmundsson, 2010). Véanse algunos ejemplos relevantes como la evaluación de impacto ambiental (EIA), evaluación ambiental estratégica (EAE), análisis de ciclo de vida, análisis coste-beneficio, etc. (Ness *et al.*, 2007).

Aunque ampliamente extendidas, estas técnicas de evaluación ambiental 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 también razones puramente técnicas y/o de fondo, relacionadas con la complejidad que caracteriza la movilidad frente a otras posibles actuaciones en el ámbito urbano.

Por un lado, la evaluación ambiental no actúa frecuentemente como instrumento nuclear en la toma de decisiones, se podría decir que más que prevenir los posibles impactos o consecuencias ambientales de un determinado plan o proyecto, reacciona para mitigar o adaptar a éstas en un contexto determinado. Esto puede ser una consecuencia de que a menudo la evaluación ambiental interviene exclusivamente en las fases finales del plan o proyecto, cuando las posibles alternativas han sido planteadas y la capacidad de decisión es muy reducida (Gómez, 2007). En este caso, su utilidad radica en justificar desde una óptica ambiental la(s) alternativa(s) seleccionada(s). Para ello, suelen servirse de una amplia batería de medidas correctoras y/o compensatorias, tal y como ocurre en la EIA o la EAE.

Por otro lado, las técnicas de evaluación actuales no son del todo capaces de abordar la complejidad

que caracteriza a la movilidad urbana, haciendo difícil la interacción de sus resultados con otros factores y actores que influyen en la toma de decisiones (Arce *et al.*, 2010). Esto hace que a menudo las técnicas de evaluación que se utilizan desemboquen en el uso, por ejemplo, de modelos de caja negra (análisis coste-beneficio, análisis de vulnerabilidad ambiental, etc.). Algunas particularidades de la movilidad urbana refuerzan o contribuyen a esta situación: *i)* la movilidad urbana constituye 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 excepción de la construcción de infraestructuras del transporte).

Ante este panorama, sería conveniente apuntar que las técnicas de evaluación ambiental utilizadas en el contexto de la movilidad urbana tienen en muchas ocasiones un enfoque predominantemente reactivo. En concreto, este artículo se centra en analizar cuatro dimensiones relacionadas entre sí, que con base en las cuestiones previamente descritas, podrían contribuir a realizar un planteamiento más proactivo de la evaluación ambiental de dicha movilidad: *a)* rendimiento ambiental; *b)* umbrales ambientales; *c)* enfoque integrado; *d)* ayuda a la decisión/planificación. Para analizar la fortaleza y operatividad de estas dimensiones, se ha diseñado un instrumento de evaluación ambiental que sigue estas premisas, llamado “Modelo de Umbrales Ambientales” (MUA en adelante), que además se ha aplicado a un corredor de movilidad en el área metropolitana de Granada (España).

A partir de esta introducción, el artículo se estructura en tres bloques. El primer apartado se ocupa de contextualizar a nivel teórico esta investigación, centrandose su enfoque sobre las cuatro dimensiones previamente citadas. El segundo apartado recoge el diseño del modelo de umbrales ambientales y su aplicación al caso de Granada. Finalmente, el último apartado discute y concluye sobre la medida en que el modelo propuesto contribuye a un enfoque más proactivo de la evaluación ambiental de la movilidad urbana.

DE LO REACTIVO A LO PROACTIVO. DIMENSIONES RELEVANTES

Con el fin de profundizar sobre la problemática descrita aportando posibles vías de progreso, se proponen cuatro bloques de discusión relacionados entre sí y sobre los que estructurar nuevos métodos y enfoques para la evaluación ambiental de la movilidad urbana, de forma que como se ilustra en la Figura 1 se culmine la “decisión ambiental” desde un proceso de análisis y diagnóstico estructurado por cuatro dimensiones relevantes: *i)* basarse en el rendimiento ambiental; *ii)* definir umbrales ambientales; *iii)* partir de un enfoque integrado entre estructura urbana y patrón de viaje; *iv)* desarrollar herramientas orientadas a la decisión/planificación.

Rendimiento ambiental

Desde los años sesenta y especialmente a partir de la Directiva europea 85/337, el impacto ambiental ha sido el criterio más utilizado para valorar las consecuencias sobre el medio ambiente

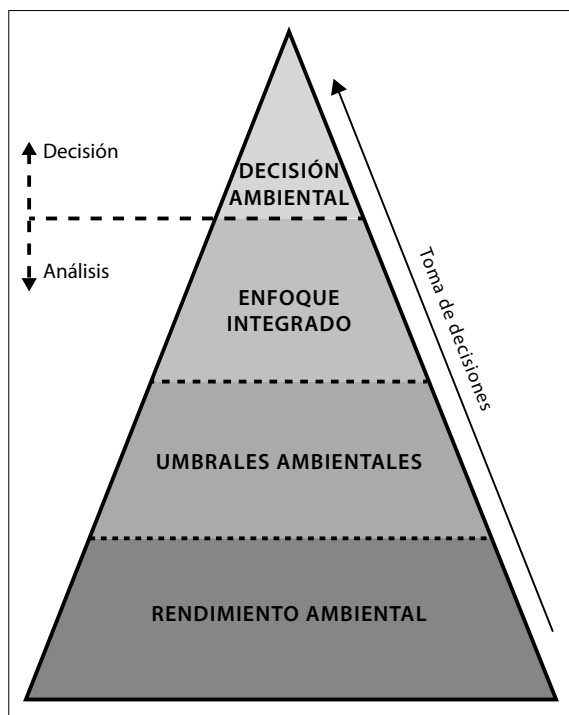


Figura 1. Dimensiones relevantes para una evaluación ambiental proactiva de la movilidad urbana.

de una determinada actividad (Gómez, 2007; Gasparatos *et al.*, 2008). Esto es útil en aquellas situaciones en las que la actividad tiene un foco localizado de afección y una parte importante de sus efectos suelen ser permanentes en el tiempo, características que no son dominantes en el caso de la movilidad urbana. De ahí que la primera de las dimensiones citadas para promover un uso más proactivo de los instrumentos de evaluación ambiental, esté basada en el sentido que debería cobrar la evaluación, haciendo referencia a que tales evaluaciones deberían de apoyarse más sobre la idea de rendimiento ambiental que en la idea tradicional de impacto ambiental. La razón de esta cuestión no solo radica en que el rendimiento ambiental se pueda adaptar mejor que el impacto ambiental a las características particulares de la movilidad urbana, sino que además, aporta una información (Miralles, 2012) que puede ser más relevante para técnicos y profesionales implicados en un determinado plan y/o proyecto desde fases tempranas de la toma de decisiones. Esencialmente porque el rendimiento ambiental no tiene como último fin corregir los efectos ambientales de una intervención determinada, sino minimizar el riesgo ambiental de dicha intervención anticipándose a sus posibles efectos mediante una valoración de su funcionamiento (Cuadro 1).

Genéricamente, el concepto rendimiento permite la visión de diferentes aspectos que podrían

Cuadro 1. Rendimiento *vs* Impacto en el caso de la movilidad urbana

Impacto ambiental	Rendimiento ambiental
Mide cómo cada alternativa cambia el entorno.	Mide cómo funciona ambientalmente cada alternativa.
Informa en términos de grado de transformación.	Informa en términos de eficiencia.
Visión individualizada de las externalidades ambientales.	Visión de conjunto de las externalidades ambientales.
Corrige los efectos ambientales de cada alternativa.	Minimiza el riesgo ambiental de cada alternativa.

ser tomados en cuenta a la hora de evaluar el funcionamiento de un sistema determinado. En este contexto, la evaluación del rendimiento ambiental podría ser definida como la medida cualitativa o cuantitativa del funcionamiento ambiental de la movilidad urbana (De Borger *et al.*, 2002).

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 ochenta 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”. Técnicas que se centran en distinguir procesos eficientes de ineficientes, estimando un nivel o grado de ineficiencia determinado (Brons *et al.*, 2005; Diana y Daraio, 2010). A partir de la década de los noventa, el concepto de evaluación del rendimiento de la movilidad y el transporte comenzó a extenderse, fundamentalmente, por su idoneidad para evaluar y seleccionar alternativas, llegando así, al campo de la sostenibilidad ambiental.

Algunos ejemplos representativos para esta investigación se pueden ver en Gerike *et al.* (2010), que propone un sistema de evaluación del rendimiento para el caso específico del sistema de transporte alemán, evaluando aspectos vinculados a la utilización de recursos y energía. Junto a éste, el KPI system (Key Performance Indicators) propuesto por Ricci *et al.* (2010) evalúa la eficiencia del transporte en las ciudades de Londres y París. El STPI Project (Sustainable Transportation Performance Indicators Project), 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, junto a sistemas de transporte público y privado (Miller, 2002). Un último ejemplo es el Transport Sustainability Performance elaborado por el JRC (Dobranskyte *et al.*, 2007), cuyo objetivo es evaluar el rendimiento ambiental de los diferentes sistemas y programas de movilidad en la Unión Europea.

Una posible vía para acentuar el carácter proactivo de estos sistemas de evaluación del rendimiento

ambiental, esencialmente en lo que tiene que ver con su capacidad de interacción con otros factores y actores relevantes para la movilidad urbana, está asociada con dotar a éstos no solo de una capacidad para mostrar tendencias ambientales de las distintas alternativas proyectuales en evaluación (Soria y Valenzuela, 2014a), sino con que sean capaces de entrar a pormenorizar cuánto de positivas o de negativas son para el medio ambiente urbano tales tendencias (CAF, 2010). Para afrontar este aspecto, el artículo incide en que los resultados de los sistemas de rendimiento deberían ser complementados con la adopción de valores de referencia o umbrales ambientales.

Umbrales ambientales

La adopción de valores normativos de referencia o umbrales ambientales podría ser una opción metodológica interesante de cara a facilitar la interacción entre especialistas del campo ambiental con otros profesionales que también participan en la toma de decisiones. Esta dimensión puede ser especialmente relevante en lo que respecta a la comparación de alternativas, ya que permite estandarizar los resultados de la evaluación facilitando un lenguaje común para la discusión y la comparación.

Existe una tendencia creciente a reclamar la importancia de utilizar valores umbrales como parte del método de evaluación ambiental (Nijkamp, 2004; Hickman *et al.*, 2010), sin embargo, su uso está poco extendido en la práctica diaria. Desde los años setenta ha sido una práctica promovida por las instituciones europeas y nacionales respecto de aquellos contaminantes que pueden ocasionar graves perjuicios a la salud pública. Ciertas reminiscencias de esta cuestión se pueden ver en los valores de referencia para contaminantes atmosféricos fijados, en el contexto europeo por la Directiva 30/99 o los niveles de protección acústica fijados por la Directiva 2201/49. En cualquier caso, el incremento de la conciencia ambiental ha hecho proliferar desde las diferentes administraciones, la búsqueda de umbrales ambientales no solo por motivos de afección a la salud pública, sino también por motivos relacionados con aspectos estrictamente ambientales, siendo un ejemplo de ello el cambio climático a través del contenido dispuesto

en la Directiva europea 91/2002 sobre eficiencia energética y sostenibilidad.

Algunas cuestiones que deben ser tenidas en cuenta a la hora de plantear a nivel metodológico como adoptar umbrales ambientales en un sistema de evaluación del rendimiento ambiental, tienen que ver con valorar qué tipo de umbrales deberían considerarse o cómo estimarlos propiamente.

En primer lugar, es necesario destacar que uno de los problemas encontrados en la aplicación de los actuales métodos de evaluación ambiental, están relacionados con su tendencia a medir desde lo negativo. Es decir, la evaluación ambiental se utiliza como método para identificar externalidades negativas de una actividad determinada y, consecuentemente, plantear medidas que contribuyan a disminuir este efecto o compensarlo en la medida de lo posible. Sin embargo, no es común encontrar ejemplos en los que la evaluación ambiental repare al mismo nivel sobre los aspectos positivos para el medio ambiente de un determinado plan o proyecto y, en consecuencia, proponga medidas que contribuyan a optimizar ese efecto positivo. Este artículo defiende que la evaluación debería estar acotada tanto en lo positivo como en lo negativo, tanto en la calidad como en el impacto, de manera que la adopción de umbrales ambientales debería perseguir esta doble vertiente. Un buen ejemplo a este respecto sería “The flag model” (Nijkamp, 2004) cuya definición de umbrales críticos responde a esta lógica.

En segundo lugar, el mayor problema que se encuentra en la práctica diaria está relacionado con cómo determinar los umbrales ambientales. Una forma sencilla puede ser utilizando la normativa existente en aquellos casos en los que ésta exista y además contenga valores límite para los distintos contaminantes ambientales (común en los casos de contaminación atmosférica y acústica). El problema es a la hora de establecer umbrales en aquellos casos en los que no existe ningún tipo de normativa que nos pueda ayudar al respecto, ya que comúnmente, los agentes implicados en la toma de decisiones tienen visiones diferentes respecto de los valores umbrales a adoptar. Una opinión que varía en función de su formación académica, etapa laboral en la que se encuentren, etc. Algunos métodos

que se pueden utilizar están basados en paneles de expertos, paneles delphi, encuestas, etc., siendo siempre conscientes de que la adopción de estos umbrales estará sujeta a las características particulares del contexto específico donde se aplica, por lo que su exportabilidad estará más supeditada al método de elección del valor umbral que al umbral en sí mismo (Cuadro 2).

Aunque la evaluación ambiental a partir de la idea de rendimiento y a través de la adopción de umbrales ambientales cubre buena parte de las premisas definidas previamente respecto al carácter proactivo de la evaluación de la movilidad urbana, contextualizar sus resultados en función de una perspectiva integrada entre elementos de la estructura urbana y de los patrones es un aspecto esencial que refuerza la capacidad de la evaluación para anticiparse a muchos de los problemas ambientales que derivan de la movilidad. De ahí que este artículo ponga énfasis en que una perspectiva integrada entre estructura urbana y patrón de viaje debe ser un elemento básico en la evaluación ambiental de la movilidad urbana, como medio para lograr un mayor carácter proactivo de ésta.

Enfoque integrado

Las aportaciones fundamentales de realizar una evaluación ambiental de la movilidad desde una visión integrada entre estructura urbana y patrón de viaje son las siguientes:

Cuadro 2. Diferencias entre umbrales regulados y no regulados a nivel normativo

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

- Enriquecer la evaluación ambiental 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 son más relevantes en un contexto urbano determinado, lo que facilitaría una mayor especificidad de las medidas adoptadas en cada contexto.
- Analizar la adecuación ambiental de cada alternativa evaluada a las características del espacio urbano donde se localiza.

Reconocida la importancia de abordar la evaluación ambiental de la movilidad urbana desde una perspectiva integrada entre estructura urbana y patrón de viaje, durante los últimos años han proliferado multitud de investigaciones basadas en conocer con exactitud qué tipo de relaciones existen entre ambos aspectos y cuáles son sus variables más determinantes (Cervero y Kockelman, 1997; Ewing y Cervero, 2001, 2012; Potoglu *et al.*, 2008; Naess, 2009; Sánchez y De Palma, 2013). Sin embargo, es difícil encontrar trabajos que pongan su acento en el desarrollo de conceptos y métodos que transfieran a nivel operativo para la práctica diaria de la planificación, parte del conocimiento académico existente en este campo. Entre los problemas encontrados en la literatura especializada destacan los tres siguientes: *a)* aplicabilidad, *b)* sencillez y *c)* flexibilidad.

La aplicabilidad debería buscarse a través de la espacialidad como elemento operante. Uno de los problemas identificados en una parte importante de las investigaciones que se ocupan de estudiar la relación entre estructura urbana y patrón de viaje, es su débil dimensión espacial (Wee, 2002; Sheiner, 2006; Brownstone y Golob, 2009), lo que hace difícil que tengan una aplicación directa por parte de los agentes implicados en la planificación.

En cuanto a la sencillez, que está directamente relacionada con la aplicabilidad. Las investigaciones consultadas tienden a valorar el binomio “estructura urbana-patrón de viaje” desde el uso de métodos sofisticados, vinculados generalmente a la estadística multivariante (Potoglou y Kanaroglou, 2008), lo cual es una barrera para su uso en la práctica diaria.

Finalmente, basar la evaluación ambiental de la movilidad en un enfoque integrado entre estructura urbana y patrón de viaje, exige que los conceptos y/o métodos generados para hacerlo sean flexibles y, por lo tanto, capaces de operar en ámbitos escalares, competenciales y contextuales diferentes, de modo que en su valoración pueda tener cabida un amplio abanico de factores y variables que se consideren más determinantes según el contexto o las preferencias de los posibles usuarios.

Con base en lo anterior, este artículo propone que la aplicación de sistemas de rendimiento ambiental y, en consecuencia, de umbrales ambientales, debería contextualizarse sobre unidades espaciales definidas a partir de factores de la estructura urbana y el patrón de viaje, útiles para la evaluación ambiental de la movilidad urbana. Tales unidades espaciales reciben el nombre de entornos de movilidad (Soria, 2011), siendo definidos como aquellas unidades espaciales operativas para la evaluación, resultante de una valoración integrada de factores de la estructura urbana y patrón de viaje, capaces de aportar información sobre las siguientes cuatro dimensiones de la movilidad (Figura 1):

- a)* urbanística: relacionada con aquellos elementos de la estructura urbana que tienen incidencia sobre el patrón de viaje;
- b)* ambiental: vinculada a la eficiencia de la movilidad en el uso del espacio y la energía;
- c)* socio-económica: relacionada con factores que pueden influir en el comportamiento a la hora de seleccionar determinados modos de transporte;
- d)* modal: que tiene que ver con aspectos vinculados al patrón de viaje, tales como, dotación de transporte público, tráfico privado, rutas peatonales, etcétera.

Algunos trabajos previos basados en la definición de unidades espaciales a partir de la estructura urbana y el patrón de viaje se pueden consultar en Cervero (2002), Bertolini y Djist (2003) o Rodríguez *et al.* (2009).

Las tres dimensiones hasta el momento analizadas (rendimiento ambiental, umbrales ambientales y enfoque integrado) están caracterizadas por orientarse al análisis y diagnóstico de una intervención o plan y sus posibles alternativas. De ahí que el último aspecto considerado de cara a fortalecer una mayor dimensión proactiva de la evaluación ambiental en la toma de decisiones, esté vinculado al desarrollo de herramientas específicas, no solo orientadas al diagnóstico sino que ayuden también de forma directa en la decisión/planificación.

Herramientas de ayuda a la decisión/planificación

Una de las cuestiones que da fuerza a la idea de evaluar la movilidad urbana desde el punto de vista de su rendimiento ambiental y sus umbrales ambientales desde un enfoque integrado, es su capacidad para determinar qué factores de la movilidad son más influyentes sobre dicho rendimiento (factores tales como: frecuencia circulatoria, ocupación de viajeros, distribución modal viaria, etc.), facilitando el desarrollo de herramientas de ayuda a la decisión/planificación. Las principales cuestiones a responder aquí, estarían relacionadas con saber qué métodos utilizar para conocer cómo de sensible es el rendimiento ambiental de la movilidad urbana a diferentes factores vinculados a ésta y, qué información derivada de la sensibilidad del rendimiento ambiental es más relevante para los distintos perfiles profesionales implicados en la evaluación.

Respecto de la primera cuestión, se podría decir que los análisis de sensibilidad se posicionan como un método útil a fin de conocer qué factores de la movilidad urbana son más determinantes para su rendimiento ambiental. Los análisis de sensibilidad han tenido un importante auge en otros campos de la investigación, por ejemplo, en el ámbito económico o geográfico (Gava *et al.*, 2008). Tales análisis permiten generar herramientas que ofrecen una visión clara sobre qué factores son más determinantes en un aspecto dado, por ejemplo, la sostenibilidad ambiental. De ahí que puedan ser un método idóneo sobre el que construir herramientas que den información más allá del análisis y del diagnóstico ambiental, acercando la evaluación a la ayuda a la decisión, lo que reforzaría

su carácter proactivo. De este modo, los análisis de sensibilidad han sido especialmente utilizados en el caso de modelos basados en técnicas de análisis multicriterio, 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).

Por otro lado, abordar el diseño de herramientas de ayuda a la decisión, exige dar respuesta a la segunda cuestión planteada, relativa a qué información del análisis de sensibilidad ambiental sería más relevante para los distintos agentes implicados en la toma de decisiones. En este sentido, los instrumentos desarrollados deberían responder a una doble vertiente. Por un lado, a conocer qué factores tienen una incidencia más positiva o negativa en el rendimiento ambiental de la movilidad y, por lo tanto, de utilidad para los expertos ambientales a la hora de realizar propuestas que minimicen el riesgo ambiental de las diferentes alternativas de la intervención o plan específico a desarrollar. Por otro lado, desarrollar herramientas que aporten información sobre el orden de magnitud en que pueden ser alterados los distintos factores que influyen en la movilidad en un contexto urbano determinado y, por lo tanto, de utilidad para que profesionales con escasa formación ambiental reciban información relevante para plantear las distintas alternativas de una intervención dada.

UN CASO PRÁCTICO A PARTIR DEL “MODELO DE UMBRALES AMBIENTALES” (MUA)

Para ilustrar y valorar la capacidad de las cuatro dimensiones descritas de cara a fomentar un planteamiento más proactivo de la evaluación ambiental, se ha desarrollado un modelo (MUA) de evaluación que sigue estas cuatro premisas. El modelo en cuestión ha sido aplicado a un corredor de movilidad en el área metropolitana de Granada (España). De este modo, fueron evaluadas dos posibles alternativas: *i)* 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 reorde-

nación viaria y de los sistemas de transporte del corredor como consecuencia de implantar dicho sistema de transporte público (Valenzuela, 2011).

La idoneidad de este corredor para aplicar el modelo de evaluación ambiental propuesto, se basa en:

- 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 planteado. Tales cambios ambientales se deben fundamentalmente al espíritu de cada una de las dos alternativas, que mientras en la alternativa S.1 se centra principalmente en priorizar el tráfico rodado en el corredor y en especial el automóvil privado, en la alternativa S.0, los flujos de movilidad se orientan hacia el transporte público.
- 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 y, consecuentemente, sobre el rendimiento ambiental de la movilidad. Además, para facilitar la interpretación de los resultados, el corredor se dividirá en 25 tramos de análisis delimitados por paradas adyacentes del sistema de metro ligero propuesto (Figura 2), lo que permitirá 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 distintas modalidades de implementación del metro ligero, tanto en superficie como subterráneo.
- 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 desde la óptica de una perspectiva integrada entre elementos de la estructura urbana y de los patrones de viaje.

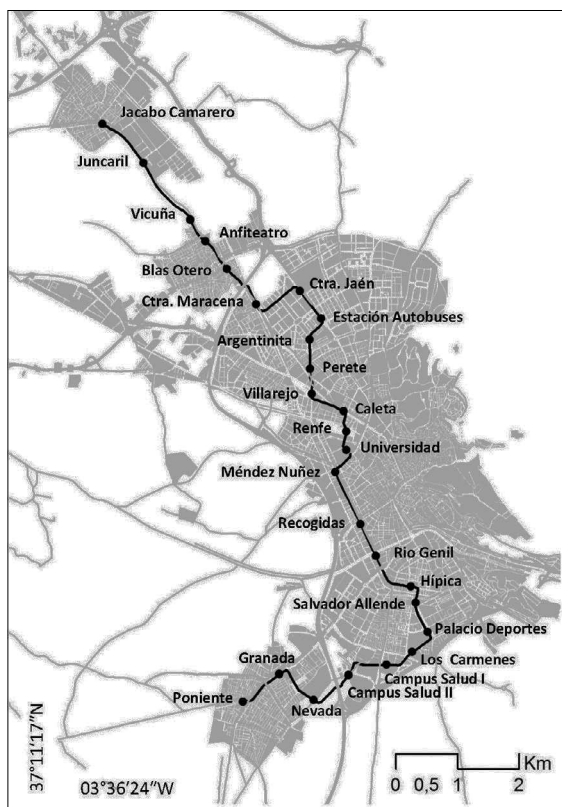


Figura 2. Corredor de movilidad y paradas propuestas para el sistema de metro ligero.

- d) El corredor como eje articulador. El corredor es un eje destacado como elemento articulador de flujos de movilidad metropolitanos, tal y como se 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 que su evaluación ambiental sea un aspecto fundamental de cara a la sostenibilidad urbana de la región.

En vista de las cuatro dimensiones seguidas para diseñar el MUA, los resultados esperables de la evaluación ambiental a realizar en el corredor de movilidad serán de dos tipos. Por un lado, el MUA realizará una valoración ambiental de las dos alternativas del corredor, proponiendo un sistema de rendimiento ambiental, adoptando umbrales ambientales y realizando un diagnóstico final con base en un enfoque integrado entre estructura ur-

bana y patrón de viaje. Por otro lado, propondrá un conjunto de indicadores de ayuda a la decisión ambiental para optimizar la alternativa que se considere más favorable. El Cuadro 3 sintetiza los contenidos esenciales del modelo en relación con cada una de las cuatro dimensiones estudiadas en este artículo.

El sistema de rendimiento ambiental en el MUA

Siguiendo la definición de De Borger *et al.* (2002) sobre los sistemas de evaluación del rendimiento, el conjunto de indicadores que integran esta parte del MUA trata de medir distintas dimensiones relacionadas con el funcionamiento de la movilidad urbana. Por esta razón, tales indicadores responden a un modelo conceptual que pone énfasis sobre aquellas externalidades ambientales más significativas de la movilidad motorizada en un corredor de transporte como el representado por este caso de estudio.

El sistema de indicadores se desarrollará sobre los tres aspectos siguientes (Figura 3):

- a) Uso de energía y otros recursos (“Entradas”). La movilidad como proceso requiere del uso de energía y otros recursos para su funcionamiento. Se proponen como indicadores, la eficiencia energética de la movilidad urbana (Mj/viaj-km) y la eficiencia superficial de la movilidad urbana (m² corredor/viaj-km).
- 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. Se proponen dos indicadores: la concentración de PM10 (µgr/m³) y la emisión de ruido (dB(A)).
- 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

Cuadro 3. Rasgos básicos del MUA en relación con las cuatro dimensiones abordadas en el artículo

Planteamiento proactivo Dimensiones		“Modelo de umbrales ambientales. MUA”
Fases de análisis y diagnóstico ambiental	Rendimiento ambiental	-Entradas al sistema (uso de recursos y energía por la movilidad). -Salidas del sistema (emisión de residuos y ruido). -Uso modal viario del corredor.
	Umbrales ambientales	- Umbral Crítico de Calidad (UCC). Valor óptimo de rendimiento ambiental, por debajo del cual, las consecuencias ambientales de la movilidad serían muy bajas o nulas. - Umbral Crítico de Impacto (UCI). Valor mínimo de rendimiento ambiental, por encima del cual, las consecuencias ambientales para el corredor serían muy graves e incluso irreversibles.
	Enfoque integrado	-Se utilizará el concepto de entorno de movilidad como unidad espacial resultante de características de la estructura urbana y del patrón de viaje. -Se realizará un diagnóstico ambiental de cada alternativa con base en los entornos de movilidad definidos.
Fase de ayuda a la decisión	Herramientas de ayuda a la decisión	-Se propondrán diferentes indicadores de ayuda a la decisión sobre la alternativa seleccionada para optimizar su diseño ambiental, con base en los resultados obtenidos en etapas anteriores.

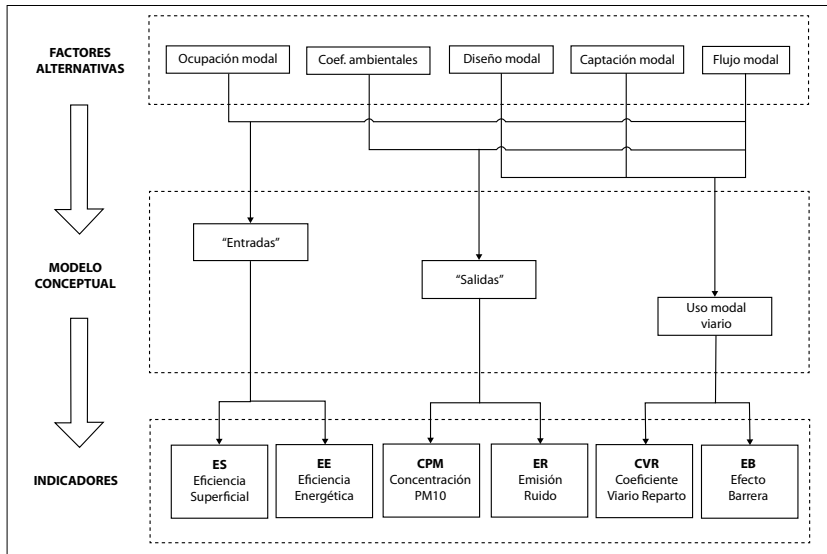


Figura 3. Sistema de rendimiento ambiental del MUA.

flujos no motorizados. Los indicadores utilizados serán el coeficiente viario de reparto (m^2 calzada/ m^2 acera) y el efecto barrera (EB/m corredor). El efecto barrera es una medida de la impedancia que supone para un peatón cruzar el corredor de lado a lado.

Tal y como se ha indicado previamente, una de las principales ventajas de los sistemas de evaluación del rendimiento frente a métodos de evaluación más tradicionales, es su capacidad para mostrar un valor global, consecuencia de la agregación de los resultados de los distintos indicadores que conforman la evaluación. La obtención de un valor global o agregado de cada alternativa requirió de los siguientes tres aspectos: *i*) ponderación de los indicadores utilizados en el sistema de evaluación del rendimiento ambiental, para lo que se realizó un panel de expertos entre los meses de junio y septiembre de 2010; *ii*) normalización de los resultados de cada indicador para hacer posible su comparación y agregación. Para ello se han utilizado funciones de transformación, cuya normalización ha sido realizada a través del método del “valor medio” (Malczewski, 1999); *iii*) agregación de los resultados y obtención de un valor global, a través de la siguiente expresión:

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

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

Los umbrales ambientales en el MUA

Considerando que cada indicador que conforma el sistema de evaluación representa una medida del rendimiento ambiental parcial del corredor, el objetivo principal reside en estimar dos valores umbrales, uno máximo (umbral crítico de impacto. UCI) y otro mínimo u óptimo (umbral crítico de calidad. UCC) 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; Figura 4).

Los umbrales propuestos son:

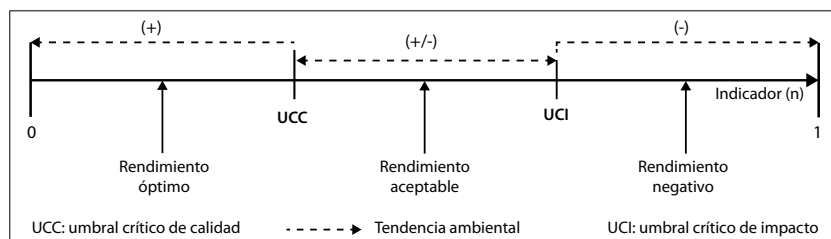


Figura 4. Esquema conceptual de los umbrales ambientales y los niveles de rendimiento definidos.

- a) Umbral crítico de calidad (UCC), 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.
- b) 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.

Para definir los umbrales de cada indicador se ha utilizado como base la existencia de regulación normativa al respecto. En el caso de que los resultados de un indicador posean dicha regulación normativa a nivel europeo, estatal o regional (Andalucía), se utilizarán los valores propuestos en la normativa como umbrales ambientales. Este es el caso de los indicadores de emisión de ruido, concentración

de PM10 y eficiencia energética de la movilidad urbana (Cuadro 4).

En el caso de que el indicador en cuestión no esté regulado a nivel normativo, casos de la eficiencia superficial de la movilidad urbana, coeficiente viario de reparto y efecto barrera, se ha diseñado un método para la obtención de sus umbrales basado en el planteamiento de tramos tipo representativos de situaciones de calidad e impacto, tomando como referencia, tanto características particulares del corredor, como criterios extraídos de manuales de diseño y gestión viaria, guías de buenas prácticas, etc. (Manchón y Santamera, 1995).

Los resultados de aplicar el sistema de rendimiento y los umbrales ambientales al caso de estudio, dejan ver inicialmente, que la alternativa S.1 relativa a implementar el sistema de metro ligero es más favorable desde el punto de vista ambiental

Cuadro 4. Umbrales ambientales estimados para el caso de estudio

Indicador	UCC	UCI	Modo de estimación
Eficiencia energética de la movilidad (Mj/viaj-km)	0,57	1,37	- Directiva 70/220 (Euro 5, 2008/2009), (ámbito europeo)
Eficiencia superficial de la movilidad (m ² /viaj-km)	0,58	0,80	- A partir de recomendaciones de Manchón y Santamera, 1995; Sanz, 2008; Pozueta, 2001.
Concentración de PM 10 (µgr/m ³)	20	30	- Directiva 30/99 (ámbito europeo) - Real Decreto 1073/2002 (ámbito español)
Emisión de ruido (dBA)	55	65	- Directiva 2201/49 (ámbito europeo) - Ley 37/2003 (ámbito español) - Decreto 326/2003 (ámbito andaluz)
Coeficiente viario de reparto (m ² calz/ m ² peat)	1,92	3,04	- A partir de recomendaciones de Manchón y Santamera, 1995; Sanz, 2008; Pozueta, 2001.
Efecto barrera (EB/m)	0,30	1,38	- A partir de recomendaciones de Manchón y Santamera, 1995; Sanz, 2008; Pozueta, 2001.

que la alternativa S.0. De este modo, considerando el índice agregado de rendimiento ambiental y los umbrales adoptados, la alternativa S.1 tendría la mayor parte de los tramos del corredor con un rendimiento ambiental aceptable y óptimo, mientras que la alternativa S.0 contaría con hasta seis tramos con un rendimiento ambiental negativo. A nivel parcial, el aumento del rendimiento ambiental en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 se refleja de manera más evidente en los indicadores de eficiencia energética y superficial de la movilidad urbana junto con el efecto barrera, mientras que los resultados derivados de los indicadores emisión de ruido y coeficiente viario de reparto presentan resultados más favorables en la alternativa S.0 que en la alternativa S.1.

El enfoque integrado en el MUA

El enfoque integrado del MUA persigue realizar un diagnóstico ambiental de cada alternativa del corredor, contextualizada a partir de las relaciones entre elementos de la estructura urbana y del patrón de viaje. Para ello, el MUA propone utilizar el concepto de entorno de movilidad (Soria y Valenzuela, 2014b), (véase apartado 2º).

Para identificar tales entornos de movilidad en el corredor, el MUA ha utilizado hasta un total de siete indicadores, relacionados tanto con la estructura urbana del corredor como con sus patrones de viaje, siendo aplicados en un radio de acción de 250 m en torno a la nueva infraestructura de transporte público. Esta distancia se considera idónea dado el alcance territorial efectivo que se atribuye a un sistema de metro ligero en la bibliografía especializada (Hass-Klau y Crampton, 2005; Vuchic, 2005; Zamorano *et al.*, 2007). Los indicadores utilizados han sido: *i*) Densidad urbana (Nº Viv/Ha); *ii*) intensidad de actividades urbanas (Actividades urbanas/1000 viv); *iii*) tipo de actividad urbana dominante (% act.); *iv*) cobertura temporal de actividades urbanas (% act. por franja horaria); *v*) vehículos privados/actividad urbana; *vi*) autobuses públicos/actividad urbana; *vii*) incidencia de ejes transversales en la movilidad motorizada; *viii*) incidencia de ejes transversales en la movilidad motorizada.

Tras aplicar los indicadores se han identificado cinco entornos de movilidad en el corredor: *a*) entorno de proximidad y alcance local; *b*) entorno de proximidad y distribución circulatoria; *c*) entorno vinculado a estaciones de transporte público; *d*) entorno de circulación motorizada, y *e*) entorno de centralidad metropolitana.

1. 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, a lo que contribuye el que no estén conectados a ejes transversales de relevancia ni desde el punto de vista de su movilidad tanto motorizada como no motorizada.
2. El entorno de proximidad y distribución circulatoria habla de 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. 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.
3. El tercer entorno identificado en el corredor es el entorno de circulación motorizada, que informa de aquellos tramos 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 los 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 la 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.

4. 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. 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 entre las paradas Universidad y Méndez Núñez.
5. Finalmente, el último entorno identificado es el entorno de movilidad vinculado a estaciones de transporte público, que hace referencia a un tipo particular de entorno de centralidad metropolitana, que por su relevancia como lugares específicos orientados 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.

Para contextualizar la evaluación del rendimiento ambiental de cada alternativa del corredor con base en los entornos de movilidad definidos, el MUA identifica distintas demandas ambientales para cada entorno de movilidad que son contrastadas con los resultados obtenidos a partir del sistema de rendimiento y los umbrales estimados. Tales demandas ambientales provienen del panel de expertos realizado entre los meses de julio y septiembre de 2010. El Cuadro 5 sintetiza las demandas ambientales sobre las que se realizará el diagnóstico ambiental final.

De los resultados obtenidos en esta etapa se deduce que a pesar de que inicialmente (en las fases de rendimiento ambiental y umbrales ambientales) se habían obtenido unos resultados más favorables para la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0, cuando estos resultados se contextualizan en función de los entornos de movilidad definidos, destaca que no siempre la alternativa S.1 orienta su propuesta hacia aquellos factores que podrían ser más determinantes en según qué entorno de movilidad. Un ejemplo de esta cuestión se puede ilustrar a través del indicador efecto barrera, dado que en los tramos donde se producen las mejoras más notables de este indicador en la alternativa S.1 respecto de la alternativa S.0 (tramos 6, 7 y 8 del corredor), 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. Otro ejemplo similar ocurre con el indicador eficiencia energética de la movilidad urbana, ya que a pesar de que es el indicador que tiene unas mejoras de rendimiento ambiental más evidentes entre la alternativa S.1 y la alternativa S.0, éstas no siempre se producen en aquellos tramos donde se ha identificado un entorno de movilidad basado en la circulación motorizada y, por lo tanto, donde sería

Cuadro 5. Síntesis de las demandas ambientales de cada entorno de movilidad

Entornos de movilidad	Evaluación rendimiento ambiental corredor								
	Uso energía y otros recursos "entradas"			Emisión de residuos "salidas"			Uso modal viario		
	EE	ES	Observaciones	CPM10	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 medida de eficiencia de los flujos motorizados. Especialmente CPM10	○ ○	○ ○	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 CPM10	●	○	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.

prioritario que la alternativa seleccionada tuviese los mejores niveles de rendimiento ambiental para este indicador.

Finalmente se selecciona la alternativa S.1 como la más idónea para el corredor y se aplica la siguiente fase del MUA para optimizar la alternativa seleccionada en aquellos entornos de movilidad donde sus resultados no eran inicialmente del todo favorables.

Herramientas de ayuda a la decisión en el MUA

El MUA incluye un análisis de sensibilidad ambiental que se aplica sobre la alternativa seleccionada, encargándose de analizar qué factores de esa alternativa son más influyentes en su rendimiento ambiental (factores de distribución modal viaria, viajeros transportados, frecuencias de circulación, etc.), junto al estudio de la capacidad que tiene cada entorno de movilidad para asumir alteraciones de estos factores, a fin de poder optimizar el diseño y planificación de la alternativa en cuestión. De este modo, el MUA propone el concepto de condicionantes del rendimiento ambiental o condicionantes ambientales. El análisis de sensibilidad sigue las pautas recogidas por (Baja *et al.*, 2007; Geneletti y Van Duren, 2008).

Tales condicionantes ambientales tienen entre sus objetivos:

- identificar a qué factores es más sensible el rendimiento ambiental de la movilidad urbana en cada una de las alternativas que se evalúan;
- detectar las alternativas con una mayor capacidad para asumir alteraciones de tales factores, sin que esto tenga consecuencias graves sobre los niveles de rendimiento ambiental;
- orientar posibles alteraciones de una alternativa con base en la influencia que ejercen sus factores en el rendimiento ambiental.

Las herramientas de ayuda a la decisión propuestas desde el MUA se agrupan en los dos bloques siguientes (Cuadro 6):

- Individuales. Donde cada factor es analizado individualmente. 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, 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).

Una vez aplicado este módulo del MUA sobre la alternativa S.1, los resultados de los distintos indicadores de decisión recogidos en el Cuadro 4, muestran que los entornos de proximidad y alcance local, conjuntamente con el entorno de proximidad y distribución circulatoria, son los que tienen un mayor margen para que la alternativa seleccionada pueda ser alterada, sin que ello suponga una disminución en su nivel de rendimiento ambiental. En cambio, el entorno de circulación motorizada y el entorno de centralidad metropolitana, son aquéllos donde la alternativa S.1 tiene menor capacidad de ser modificada. Los principales factores desencadenantes de esta situación son los relativos a ocupación modal de viajeros, por lo que de la aplicación del MUA se podría deducir que la implantación de la alternativa S.1., debería ir acompañada de medidas adicionales o complementarias que promuevan una mayor ocupación de viajeros en los distintos modos motorizados para estos entornos de movilidad, por ejemplo, a través de la implantación de aparcamientos disuasorios, estrategias de vehículo compartido en hora punta, etcétera.

Cuadro 6. Instrumentos de ayuda a la decisión/planificación propuestos en el MUA

Conceptos	¿Qué estudia?	¿Cómo se define?	¿Cuál es la dimensión de sus resultados?	¿De qué informa?
Valor de impacto	A cada factor	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 entorno de movilidad	Informa sobre qué factores tienen una incidencia más negativa en el rendimiento ambiental de la movilidad urbana.
Valor óptimo	A cada factor	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 entorno de movilidad	Informa sobre qué factores tienen una incidencia más positiva en el rendimiento ambiental de la movilidad urbana.
Parámetro de saturación ambiental	A cada factor	Identifica qué factores pueden ser alterados a favor de incrementar o disminuir el rendimiento ambiental de aquéllos que no deben serlo.	- Por factor y entorno de movilidad	Informa sobre: -qué factores limitan en sentido negativo el rendimiento del corredor al no recomendar su alteración. -qué 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 factor en un entorno de movilidad determinado, bien a favor de incrementar el rendimiento ambiental o de disminuirlo.	- Por factor y entorno de movilidad	El orden de magnitud en que puede ser alterado un factor 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 factores, orientadas a reducir su rendimiento ambiental.	- Por entorno de movilidad	Resultados comparativos de diagnóstico ambiental entre los diferentes entornos de movilidad.
Capacidad de mejora	Todos los factores en conjunto	Medida global relativa a la capacidad del corredor para asumir alteraciones en sus diferentes factores, orientadas a mejorar su rendimiento ambiental.	- Por entorno de movilidad	

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El artículo ha presentado el diseño y la aplicación del MUA al caso de un corredor de movilidad en el área metropolitana de Granada (España), donde las instituciones competentes debatían sobre la implantación o no de un sistema de metro ligero como eje articulador de dicho corredor. La particularidad del MUA respecto de otras técnicas más convencionales de evaluación ambiental utilizadas en este tipo de intervenciones en el caso de España, es que ha sido diseñado conforme a cuatro dimensiones consideradas relevantes para que la evaluación ambiental tenga un carácter más proactivo en la toma de decisiones. Estas cuatro dimensiones son: *a)* basarse en el rendimiento ambiental; *b)* definir umbrales ambientales; *c)* partir de un enfoque integrado entre estructura urbana y patrón de viaje, y *d)* desarrollar herramientas orientadas a la decisión/planificación.

Los resultados obtenidos de aplicar el modelo suponen a juicio de los autores, una base sólida que podría impulsar un carácter más proactivo a la hora de decidir sobre la mejor alternativa para el corredor de movilidad. Las razones de ello se pueden sintetizar sobre los siguientes dos aspectos: *a)* la capacidad de los resultados obtenidos para interactuar con los distintos agentes que integran la toma de decisiones y *b)* la capacidad del modelo para anticipar las consecuencias ambientales de una intervención determinada.

Uno de los principales problemas de las técnicas utilizadas en la evaluación ambiental es su enorme especificidad (Ness *et al.*, 2007), lo que no solo condiciona que sus resultados puedan ser interpretados y manejados exclusivamente por especialistas de este tipo de instrumentos, sino que además limita fuertemente el uso de los resultados obtenidos para interactuar con otros factores o dimensiones (urbanística, económica, tecnológica, social, etc.) que pueden contribuir a optimizar la alternativa elegida tras la evaluación. En este sentido, el MUA en todo momento persigue la estandarización y simplicidad de los resultados obtenidos, en favor de buscar un lenguaje común que permita el uso del modelo por parte tanto de especialistas en el campo ambiental, como de aquellos que no lo son.

Algunos ejemplos significativos de esta cuestión se pueden ver a la hora de interpretar el rendimiento ambiental por medio de un índice agregado final y clasificado en función de distintos umbrales ambientales, así como también, a partir de los indicadores de decisión propuestos (Cuadro 6), cuyos resultados pueden ser utilizados de forma directa por planificadores y técnicos para optimizar la alternativa del corredor seleccionada.

Otro aspecto del MUA que refuerza su capacidad de interacción con especialistas de otros campos de trabajo, es que el modelo realiza una evaluación ambiental desde una perspectiva integrada con factores representativos de la estructura urbana y los patrones de viaje, tal y como se puede ver en el caso de los *entornos de movilidad* utilizados. Esto facilitó enormemente la comprensión de los resultados a técnicos con baja formación en temas ambientales, fomentando incluso su participación en la fase de evaluación al tratar de incorporar aquellos factores urbanísticos y del patrón de viaje que consideran más determinantes para la decisión final.

Otro rasgo destacado que refuerza el carácter proactivo de la evaluación ambiental realizada con el MUA, es su capacidad para anticipar las consecuencias ambientales de las alternativas consideradas para el corredor a diferencia de métodos de evaluación ambiental más tradicionales, donde la capacidad de anticipación suele ser bastante limitada, trasladando la integración ambiental a la adopción de medidas correctoras o compensatorias. De este modo, el diagnóstico ambiental realizado ha sido capaz de mostrar no solo cuál es la alternativa más favorable desde un punto de vista ambiental, sino para cada uno de los indicadores utilizados informa sobre cuáles son los factores que pueden condicionar en mayor medida el rendimiento ambiental de tales alternativas. Esta cuestión facilita que la integración ambiental de la alternativa considerada, en este caso particular es la alternativa S.1 relativa a implantar el sistema de metro ligero, no tenga necesariamente que realizarse a través de la adopción de medidas correctoras o compensatorias, sino que ofrece a los distintos profesionales claves para optimizar la intervención seleccionada, pudiendo reducir su impacto ambiental a una expresión mínima.

En síntesis, el uso de estas cuatro dimensiones para diseñar un instrumento de evaluación ambiental de la movilidad urbana distintas a las herramientas tradicionalmente utilizadas, pone sobre la mesa determinadas cuestiones sobre las que instituciones, especialistas y agentes implicados en la movilidad, deberían de aunar esfuerzos con el objetivo de hacer de la evaluación ambiental un aspecto más nuclear y menos residual de la toma de decisiones. En este sentido, los resultados de este trabajo reflejan que ahondar sobre el rendimiento ambiental como medida de evaluación, la adopción de umbrales ambientales como mecanismo de estandarización y exportación de resultados o, la generación de índices orientados al diseño o la planificación, constituyen campos de trabajo sobre las que mejorar y apoyar la evaluación ambiental de la movilidad urbana, abriendo a su vez líneas futuras de investigación sobre las que profundizar en trabajos posteriores.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de la Junta de Andalucía y los fondos FEDER para el Proyecto de Excelencia P12-RNM-1514: "Instrumentos para la valoración de escenarios urbanos frente al cambio climático. Diseño de un software para la evaluación ambiental -MITIGA-". 2014-2018.

REFERENCIAS

- Arce, R. M., E. Ortega e I. Otero (2010), "Los sistemas de información geográfica aplicados a la evaluación ambiental de la planificación", *Ciudad y Territorio: Estudios Territoriales*, núm. 165-166, pp. 514-528.
- Baja, S., D. M. Chapman and D. Dragovich (2007), "Spatial based compromise programming for multiple criteria decision making in land use planning", *Environmental Modelling Assessment*, no. 12, pp. 171-184.
- Banister, D. (2008), "The sustainable mobility paradigm", *Transport policy*, no. 15, pp. 73-80.
- Bertolini, L. and M. Djist (2003), "Mobility environments and network cities", *Journal of Urban Design*, vol. 8, no. 1, pp. 27-43.
- Brons, M., P. Nijkamp, E. Pels and P. Rietveld (2005), "Efficiency of urban public transit: A meta analysis", *Journal of Transportation*, no. 32, pp. 1-21.
- Browne, D. and L. Ryan (2011), "Comparative analysis of evaluation technique for transport policies", *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 31, no. 3, pp. 226-233.
- Brownstone, D. and T. F. Golob (2009), "The impact of residential density on vehicle usage and energy consumption", *Journal of Urban Economics*, no. 65, pp. 91-98.
- CAF (2010), *Desarrollo urbano y movilidad en América Latina*, Corporación Andina de Fomento, Banco de Desarrollo de América Latina.
- Cervero, R. (2002), "Built environments and mode choice: toward a normative framework", *Transportation research D*, vol. 7, no. 4, pp. 265-284.
- Cervero, R. and K. Kockelman (1997), "Travel demand and the 3Ds: Density, diversity and design", *Transportation Research*, no. 2, pp. 199-219.
- De Borger, B., K. Kerstens and A. Costa (2002), "Public transit performance: What does one learn from frontier studies?", *Journal of Transport Reviews*, vol. 22, no. 1, pp. 1-38.
- Diana, M. and C. Daraio (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.
- Dobranskyte, A., A. Perujo and M. Pregl (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.
- Ewing, R. and R. Cervero (2001), "Travel and built environment: A synthesis", *Transportation Research Record*, no. 1780, pp. 35-15.
- Ewing, R. and R. Cervero (2012), "Travel and built environment", *Journal of the American Planning Association*, pp. 265-294.
- Farrell, M. (1957), "The measurement of productive efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society*, no. 120, pp. 253-281.
- Gasparatos, A., M. El-Haram and M. Horner (2008), "A critical review of reductionist approaches for assessing the progress towards sustainability", *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 28, no. 4-5, pp. 286-311.
- Gava, L, E. Roperio, G. Serna y U. Ubierna (2008), *Dirrección Financiera: Decisiones de Inversión*, Editorial Delta.
- Geneletti, D. and I. Van Duren (2008), "Protected area zoning for conservation and use: A combination of

- spatial multicriteria and multiobjective evaluation”, *Landscape and Urban Planning*, no. 85, pp. 97-110.
- Gerike, R., U. Becker and J. Friedeman (2010), *Development of an environmental performance index for the German Transport System*, Paper presented in World Conference on Transport Research, 2010 (WCTR, 2010), Lisbon.
- Gómez, M. y J. Bosque (2004), “Aplicación de análisis de incertidumbre como método de validación y control del riesgo en la toma de decisiones”, *Geofocus*, núm. 4, pp.179-208.
- Hass-Klau, C and G. Crompton (2005), *Future of Urban Transport. Learning from success and weakness: Light Rail. Environmental and transport planning*, Bergische Universität Wuppertal.
- Hickman, R., C. Seaborn, P. Headicar and D. Banister (2010), “Planning for sustainable travel - integrating spatial planning and transport”, in Givoni, M. and D. Banister (eds.), *Integrated Transport: from policy to practice*, Routledge, pp. 33-54.
- Hull, A. (2008), “Policy integration: what will it take to achieve more sustainable transport solution in cities”, *Transport Policy*, vol. 15, no. 2, pp. 94-103.
- Joumard, R. and H. Gudmundsson (2010), *Indicators of environmental sustainability in transport: an interdisciplinary approach to methods*, INRETS report No. 282.
- Litman, T. (2009), *Developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning*, Victoria Transport Policy Institute, Victoria (Canada).
- Malczewski, J. (1999), *GIS and multicriteria decision analysis*, John Wiley & Sons, New York.
- Manchón, L. F. y J. R. Santamera (1995), *Recomendaciones para el proyecto y diseño del viario urbano*, Monografías, Dirección General de la Urbanismo, Vivienda y Arquitectura, Madrid.
- Miller, C. (2002), *Sustainable transportation performance indicators (STPI) project*, Centre for Sustainable Transportation in cooperation with IBI Group and Metropole Consultants.
- Miralles, C. (2012), “Las encuestas de movilidad y los referentes ambientales de los transportes”, *EURE* (Santiago), vol. 38, no. 115, pp. 33-45.
- Naess, P. (2009), “Residential self selection and appropriate control variables in land use: travel studies”, *Transport Reviews*, vol. 29, no. 3, pp. 293-324.
- Ness, B., E. Urbenl-Piirsalu, A. Anderberg and L. Olsson (2007), “Categorizing tools for sustainability assessment”, *Ecological Economics*, no. 60, pp. 498-508.
- Nijkamp, P. (2004), *Transport system and policy*, Edward Elgar Publishing, Massachusetts, USA.
- Potoglu, D. and P. S. Kanaroglou (2008), “Modelling car ownership in urban areas: A case study of Hamilton, Canada”, *Journal of Transport Geography*, no. 16, pp. 42-54.
- Ricci, A., S. Headley, M. Tomassini, I. Kaparias and K. Zavistas (2010), *Assessing the performance of ITS in major cities*, Paper presented in World Conference on Transport Research, 2010 (WCTR, 2010), Lisbon.
- Rodríguez, D., E. Brisson and N. Estupiñán (2009), “The relationship between segment-level built environment attributes and pedestrian activity around Bogota’s CRT stations”, *Transportation Research D*, no. 14, pp. 470-478.
- Sánchez Flores, O. y A. De Palma (2013), “Reflexión sobre enfoques y métodos utilizados en la ciencia de los transportes”, *Economía, Sociedad y Territorio*, vol. XIII, núm. 43, pp. 751-778.
- Sanz, A. (2008), *Calmar el tráfico. Pasos para una nueva cultura de la movilidad urbana*, Monografías, Ministerio de Fomento, Gobierno de España, Madrid.
- Sheiner, J. (2006), “Housing mobility and travel behavior: a process oriented approach to spatial mobility. Evidence from a new research field in Germany”, *Journal of Transport Geography*, no. 14, pp. 287-298.
- Soria Lara, J. A. (2011), *Modelo de umbrales para la evaluación ambiental de la movilidad urbana*, tesis Doctoral, Universidad de Granada, España.
- Soria Lara, J. A y L. M. Valenzuela Montes (2014a), “Diseño de un sistema de evaluación del rendimiento ambiental en corredores de movilidad urbana”, *ACE: Architecture, City and Environment*, vol. 9, no. 25.
- Soria Lara, J. A y M. Valenzuela Montes (2014b), “Más allá de la estructura urbana y del patrón de viaje. El entorno de movilidad como instrumento para la planificación y la evaluación”, *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, núm. 64, pp. 273-296.
- Valenzuela Montes, L. M., J. A. Soria Lara y R. Talavera (2011), “Hacia la integración de los planes y proyectos andaluces de movilidad metropolitana”, *Scripta Nova*, vol. XV, núm. 349, 10 de enero de 2011.
- Vuchic, V. R. (2005), *Urban Transit. Operations, Planning and Economics*, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Wee, B. V. (2002), “Land use and transport: research and policy changes”, *Journal of Transport Geography*, no. 10, pp. 259-271.
- Zamorano, C., J. M. Bigas y J. Sastre (2007), *Manual de tranvías, metros ligeros y plataformas reservadas*, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Consorcio de Transportes de Madrid.