

# Planes de Movilidad Urbana Sostenible. Diseño de Herramientas de Ayuda a la Toma de Decisiones

Jesús Racero  
FIDETIA. Escuela Superior de Ingeniería Informática. Universidad de Sevilla  
jrace28@gmail.com

Fernando Guerrero  
FIDETIA. Escuela Superior de Ingeniería Informática. Universidad de Sevilla  
fergue@gmail.com

Gregorio Racero  
FIDETIA. Escuela Superior de Ingeniería Informática. Universidad de Sevilla  
gregoracero@gmail.com

Luis Manuel Campos  
ISOIN. movilidad.sostenible.isoin@gmail.com

FIDETIA: Fundación para la investigación y desarrollo de las tic en Andalucía.  
ISOIN: Ingeniería y soluciones informáticas.

## RESUMEN

El transporte por carretera supone el 80% de las emisiones, repartiéndose equitativamente entre urbano e interurbano. En el ámbito urbano se han desarrollado Planes de Movilidad Urbana Sostenible como medida de choque, con el objetivo de aumentar la eficiencia energética, calidad ambiental y reducción de las externalidades en el sector transporte.

La última década se han desarrollado planes de transporte, donde se han ido incorporando aspectos energéticos y medioambientales. La elaboración de guías se ha convertido en un aspecto común en muchos países con el objetivo de proporcionar un marco de referencia en la elaboración de los trabajos. La diversidad de estudios y guías dispones se caracterizan por que proporciona mucha libertad en la realización de los trabajos, lo que induce a planes de transporte muy diferenciados en cada una de las fases propuestas y actuaciones no plenamente justificada en relación al diagnóstico, impidiendo extrapolar actuaciones basadas en el diagnóstico entre municipios. El presente trabajo analiza la estructura de estudios de movilidad urbana sostenible y describe el diseño de una metodología y desarrollo de un sistema automatizado para la diagnosis en planes de movilidad. El sistema está basado en herramientas de libre difusión bajo la base de un sistema de información geográfica que permite guiar el proceso de elaboración y diagnóstico de los planes de movilidad urbana sostenible. Los resultados buscan la estandarización y automatización del proceso de diagnosis para la ayuda a la toma de decisiones.

*Palabras claves:* Planes de movilidad urbana sostenible, Sistemas de información geográfica; Inventarios energético y ambientales;

*Área temática:* Movilidad sostenible. GIS, DSS  
N° Palabras: 5442

## ABSTRACT

The road transport accounts for 80% of emissions divided equally between urban and interurban. In the urban context, the Sustainable Urban Mobility Plans arise as a shock measure, with the aim of increasing energy efficiency, environmental quality and externalities reduction from the road transport.

In the last decade, the energy and environmental aspects have been included in transport plans. The development of guides is being common by many countries in order to give a common reference framework to develop this work. The studies diversity and guides available are characterized by the many possibilities offered for the performance of the work, and therefore there are many differences at the same section in each transport plans and the initiative to improve the transport proposed in the plan is not in line with the diagnostic, is for that you cannot extrapolate the same initiative to another municipality.

This paper analyzes the structure of the sustainable urban mobility studies and describes the methodology design and development of a system that provide a mobility plan diagnostic automatically. The system is based on a Geographical Information System which is developed by open source, the GIS provides to the user a guide for making the sustainable urban mobility diagnostic. The results look for the standardization and the automation of the process to making the diagnostic to help to take a decision about the target.

*Keywords:* Sustainable Urban Mobility Plans, Geographical Information System (GIS), energy and environmental indicators.

*Context:* Sustainable Mobility, GIS, Decision Support System (DSS).

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Aparte de las consecuencias derivadas de la emisión de gases al medio ambiente, el transporte genera otra serie efectos adversos en la vida de las personas (externalidades).

Las externalidades (contaminación, accidentalidad y congestión) suponen actualmente un 8% del Producto interior bruto y se prevén que suban hasta el 12% para el año 2012. El tráfico en las ciudades genera el 80% del ruido, al igual que genera situaciones de inseguridad a los usuarios a pie, siendo estos el colectivo más vulnerable de los usuarios de las vías. Un tráfico elevado genera mayor accidentalidad de vehículos y peatones, generando un número considerables de víctimas fallecidas y daños materiales. Toda esta cantidad de vehículos absorbe además una gran cantidad de espacio urbano, destinado

para que los vehículos puedan circular con comodidad y para que los vehículos, sobre todo privados, puedan estacionar.

En los últimos años, se ha desarrollado encuestas con el objetivo de conocer y analizar a fondo las características de la movilidad en España. Los resultados de estas encuestas se recoge en MOVILIA y publicados por el ministerio de fomento en relación a “Como se mueven los Españoles” (Encuestas, 2007). Como se puede apreciar en las siguientes gráficas, las principales conclusiones de MOVILIA indican que el número de desplazamientos diarios es de 3 independiente del tamaño del municipio. El 40% de los desplazamientos es por motivo laboral y el principal modo de desplazamiento es el vehículo privado (60%) aumentando en la medida en que la población del municipio disminuye.

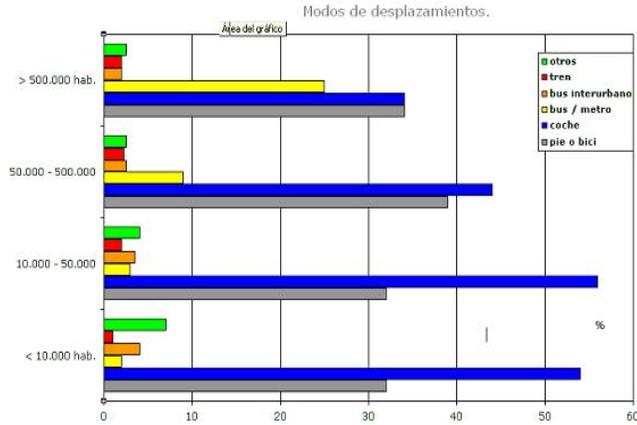


FIGURA 1: Modos de Desplazamiento de la Población (Movilia)

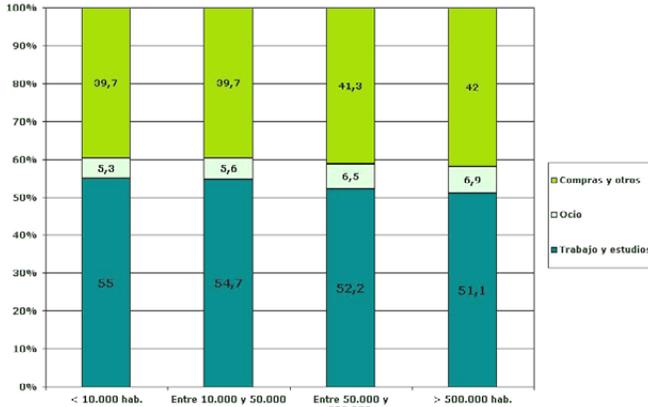


FIGURA 2: Reparto de Desplazamientos por Principales Motivos

La dispersión urbana es uno de los principales causantes del aumento de la demanda de movilidad privada. La congestión y deterioro de la calidad ambiental en una zona potencia los factores socio-económicos como base hacia patrones de expansión urbana. La expansión urbana con baja densidad de población incentiva el uso del transporte privado por ineficiencia del transporte público que a su vez induce a un uso masivo del vehículo privado. En España, este patrón se ha reflejado en el nivel de motorización (vehículos por cada 1000 habitantes) donde en los últimos 15 años el nivel de motorización ha crecido de 350 vehículos por cada mil habitantes hasta los 550 vehículos. Así mismo, el nivel de ocupación medio de los vehículos es de 1.2 personas.

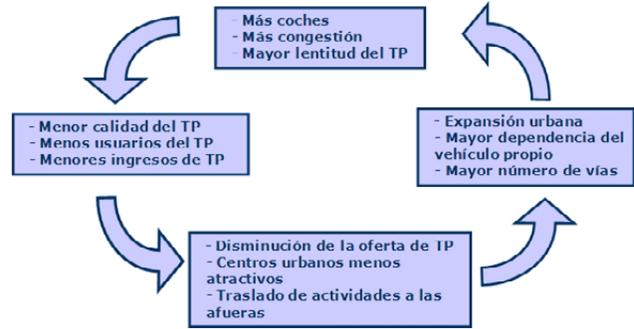


FIGURA 3: Evolución de la Movilidad Urbana

La movilidad sostenible se define como la movilidad que se satisface con un tiempo y coste razonables y que minimiza los efectos negativos sobre el entorno y la calidad de vida de las personas.

En la última década, han proliferado los estudios y actuaciones orientadas al aumento de la eficiencia energética y calidad ambiental en muchos municipios. El desarrollo de planes de movilidad se han caracterizados por no ser un proceso normalizado, siendo trabajos muy diversos y dispares que impiden compararlos entre sí para poder establecer políticas comunes de actuación presente y futura en función de las características de cada municipio.

El siguiente trabajo tiene el objetivo el diseño y desarrollo de una herramienta para la elaboración de la diagnosis en planes de movilidad urbana sostenible. Este objetivo se estructura en una primera revisión de la literatura donde se analizan las metodologías para la elaboración de planes de movilidad urbana orientados a la sostenibilidad desarrollados en Europa y descripción de las herramientas TIC (Tecnología de la información y comunicaciones) aplicadas, a continuación se describe el diseño de la metodología para la elaboración de un plan de movilidad y posteriormente el diseño de la herramienta de diagnosis y monitorización, finalmente se describe algunas aplicaciones de la herramienta.

## 2. ANÁLISIS DE METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS

Los planes de movilidad urbana sostenible (PMUS) se define como un conjunto de etapas que tienen como objetivo el diagnóstico de la movilidad actual para así proponer la implantación de formas de desplazamiento más sostenibles (caminar, bicicleta, transporte público, optimización del transporte privado) dentro de un municipio, es decir, de modos de transporte que hagan compatibles crecimiento económico, cohesión social, y defensa del medio ambiente.

En Europa, esta tarea se ha desarrollado en las últimas dos décadas donde los Plan de déplacements urbains (Planes de desplazamiento urbanos-PDU, ADEME/CERTU, 2001) iniciados en Francia en el año 1982, los Local Transport Plans (Planes Urbanos de Transporte LTP, Guidance 2008) ingleses o los Piani Urbani de Mobilità (Planes urbanos de movilidad-PUM, Ministero 2001) italiano tienen como objetivo la diagnosis, el diseño e implantación de medidas que aumenten la eficiencia energética en el desplazamiento y mejoren la movilidad (Tabla 1).

Actualmente en España se disponen de dos guías (IDAE 2006) donde se describe someramente las etapas para el desarrollo e implantación de planes de movilidad urbana sostenible y planes de transporte a trabajadores de forma que su utilización y seguimiento se centra en una mera identificación de etapas.

En cuanto a las herramientas disponibles para el diagnóstico de estos Planes de Transporte a Trabajadores cabe destacar aquellas que utilizan SIG aplicadas a la movilidad sostenible. Hay que comentar que éstas están asociadas al medioambiente, y en la visualización de niveles de contaminación.

TRAEMS (TRansport planning Add-on Environmental Modelling System): Herramienta para el desarrollo de planes de transporte por carretera, ha sido desarrollado usando MapInfo GIS sus principales características son (Brown, 2002):

- Predicción del impacto del transporte sobre carreteras
- Modelos para el cálculo del ruido del tráfico.
- Modelos para el cálculo de la contaminación del aire.
- Modelos para el cálculo del consumo de Energía.
- Modelos para el cálculo de la contaminación de agua en nubes de la zona.

Se pueden encontrar aplicaciones similares a estas como las que se citan a continuación (Brown, 2003):

- ESTEEM (Hall, 1999),
- SPARTACUS, (Lautso, Martino, & Toivanen, 1998).
- IMPEACT (Taylor, Wooley, Young, & Clement, 1994).
- PROPOLIS (2001) and ADMS-Urban (Owen, Edmunds, & Carruthers, 1999).

Hay herramientas que ofrecen funcionalidades más centradas en la contaminación y emisión de gases contaminantes como pueden ser: (Ruwin, 2008)

Operational Street Pollution Model (OSPM): (Costabile, 2008)

- Es una extensión aplicable a ArcView GIS, con la funcionalidad de calcular la contaminación en calles determinadas del municipio. (Tang, 2007), (Berkowicz, 2006) Calculation of Road Traffic Noise (CRTN).
- Al igual que el anterior modelo es una extensión aplicable a ArcView GIS que permite calcular la contaminación acústica del tráfico. (Tang, 2007)

Emission Inventory System from Transport (EIST): (Mehrez, 2007)

- Herramienta desarrollada con Microsoft Visual Basic, cuya principal característica es el cálculo de la contaminación de los diferentes sectores de tráfico de un municipio. (Panagiotis, 2004)

Por último destacar, que hay modelos basados en redes neuronales, en concreto las del tipo Perceptron Multicapa (MultiLayer Perceptrons, MLP), que son las redes neuronales artificiales más utilizadas para la predicción de la contaminación del aire. (E. Salazar-Ruiz, 2007) (Adriana, 2008)

**TABLA 1: Guía para la Elaboración de Planes de Movilidad Urbana Sostenible en Francia**

PDU (Francia 1982)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obligatorio para ciudades de &gt; 100.000 Hab.</li> <li>- Se redacta para periodos de 5 y 10 años.</li> <li>- Define los principio de organización del transporte en la ciudad, circulación y aparcamiento para conseguir una coordinación de todos los modos promoviendo los más eficientes y menos contaminantes.</li> </ul>
<p>Normativa vigente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LOTI (1982), ley básica de los PDU.</li> <li>- LAURE (1996), convierte los PDU en obligatorios para aglomeraciones &gt; 100.000 habit.</li> <li>- SRU (2000), obliga a que los PDU traten la seguridad de los desplazamientos, y contemplen sistema de tarificación integrada</li> </ul>

**TABLA 2: Guía para la Elaboración de Planes de Movilidad Urbana Sostenible en el Reino Unido**

LTP (Reino Unido 2000-2005)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecen estrategias de transporte integrado a 5 años.</li> <li>- Revisadas por LTA, y anualmente por un auditor independiente (distribución \$)</li> <li>- APR (informes anuales de seguimiento del plan)</li> <li>- Indicadores para evaluar el cumplimiento del plan.</li> <li>- Plan general de organización del transporte con especial interés en la participación de todos los grupos sensibles y gran participación ciudadana.</li> </ul>
<p>Normativa vigente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Libro Blanco del Transporte (1998), introduce los LTP con el fin de conseguir un transporte integrado.</li> <li>- Ley de Transporte (2000), otorga a las LTA competencias para llevar a cabo los LTP.</li> <li>- Guidance on Full LTP (2000), detalla la preparación de los LTP. (Full Guidance on Local Transport Plans: Second Edition, para 2006-2011).</li> </ul>

**TABLA 3: Guía para la Elaboración de Planes de Movilidad Urbana Sostenible en Italia**

PUM (Italia, 2000)
<p>Obligatorios para ciudades y Áreas Metropolitanas &gt; 100.000 habitantes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plan a largo plazo: 10 años • Contiene diferentes sub-planes (1 por modo de transporte).</li> <li>- Revisión bianual</li> <li>- Falta de desarrollo reglamentario y de un marco de financiación poco desarrollados.</li> </ul>
<p>Normativa vigente</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plan Nacional de Transporte (2000) y Ley 340/2000, definen la metodología para preparar y diseñar los PUM.</li> <li>- Regulación de la planificación del transporte. urbano está en fase de transición</li> </ul>

### 3. PLANES DE MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

Un PMUS se puede estructurar en 5 grandes fases (Figura 5). Aunque las cuatros primeras fases suelen desarrollarse de forma secuencial es posible que parte de las tareas asociadas a diferentes fases se puedan realizar en paralelo. La posibilidad de realizar tareas parciales en paralelo viene a consecuencia de la subdivisión de las fases en bloques de trabajo, donde inicialmente se realiza un análisis individualizado por bloques (diagnosis) para posteriormente un análisis conjunto parcial, agrupando bloques, y total. Los bloques a considerar son:

**Aspectos Socio-Económicos y Usos del suelo.** La estructura socio-económica del municipio es crucial para el análisis de la demanda de movilidad, los centros atractores y generadores de viajes (usos del suelo), la localización de las actividades educativas, sanitarias, económicas, comerciales e industriales e incluso identificar los colectivos y asociaciones existentes en el municipio que serán partícipes del plan deben ser identificados para su posterior análisis de la influencia en la movilidad.

**Movilidad vehículo privado.** Se centra en la toma de datos, diagnóstico y diseño de actuaciones en el ámbito de los desplazamientos privados. La movilidad privada incluye aparcamientos, demanda de movilidad, accesibilidad a municipios y centros (educativos, administrativos, sanitarios,...) o zonas y por supuesto el viario (oferta).

**Movilidad transporte público.** La toma de datos, diagnóstico y actuaciones en relación a líneas de transporte público que incluye información asociada a los trayectos, paradas, accesibilidad, cobertura, nivel de información en resumen aspectos que afectan a la competitividad del sistema de transporte público.

La toma de datos, la diagnosis y las actuaciones en relación a movilidad ciclista, peatonal y transporte de mercancías están interrelacionadas y aunque el diagnóstico puede ser desarrollado de forma independiente, con alguna partes comunes, se recomienda un tratamiento conjunto ya que actuaciones, en cualquiera de sus ámbitos, inciden entre si siendo necesario la complementariedad de actuaciones correctoras y atenuadores de los efectos negativos.

**Movilidad ciclista:** La toma de datos, diagnosis y actuaciones están asociadas a conocer las rutas empleadas, tipología de los desplazamientos, aparcamientos y horarios. Analizar las oportunidades, debilidades, amenazas y fortalezas que proporciona el municipio para un desplazamiento ciclista

**Movilidad peatonal:** Una de las prioridades es el fomento de la movilidad peatonal para ello es necesario ganar espacio para el peatón, detectar y corregir problemas de inseguridad vial de forma que se convierta en el medio mas seguro y confortable en distancias cortas.

**Transporte de mercancías:** El transporte de mercaderías supone hasta el 25% de los desplazamientos en los municipios (city logistics). Una ordenación, gestión y regulación del transporte de mercancías ayuda a mejorar la movilidad, calidad ambiental y eficiencia energética del conjunto no solo desde el punto de vista general sino también desde el punto de vista particular de los transportistas.

Cada fase del PMUS se compone de etapas de trabajo donde se definen los procesos y actividades a desarrollar. Los resultados de cada fase queda reflejado en dos tipos de informes, el primero describe las tareas realizadas y los resultados obtenidos y un documento final que contiene los resultados alcanzados en la fase. Las fases están compuestas por actividades que describen los procesos que deben desarrollarse en la elaboración del PMUS. Finalmente, los procesos tienen asociadas técnicas y herramientas que son empleadas en cada etapa para la toma de datos, análisis y diagnosis y ayuda a la toma de decisiones en relación a las actuaciones.



FIGURA 4: Etapas en la Elaboración de Planes de Movilidad

Finalmente, un plan de movilidad viene enlazado a un proceso intenso de participación, concienciación e información ciudadana. El proceso de participación e información se desarrolla en paralelo a los trabajos de toma de datos, diagnosis y actuaciones, si bien al final de cada fase es necesario actos donde se presenten los resultados e informes de las posibles actuaciones. Esta fase incluye una serie de actividades, tales como técnicas de gestión de grupos, herramientas y sesiones presenciales/virtuales de información y participación.

### 3. DISEÑO DEL SISTEMA

El sistema de ayuda al diagnóstico de planes de movilidad es un sistema distribuido que gestiona todo el proceso de toma de datos y diagnosis de la movilidad. El sistema esta formado por 5 bloques que interactúan entre si para monitorizar los trabajos de toma de datos y obtener los resultados de la diagnosis (Figura 5).

#### 3.1 Subsistema de Información

El principal componente es una base de datos y un sistema de información geográfica (Geographical Information System, GIS) donde se almacena toda la información (gráfica y no gráfica) relacionada con área en estudio.

El sistema de información es el encargado de gestionar y generar los diálogos para recopilación y procesado de la información adaptándola a las necesidades del sistema. La base del sistema de información es un entorno GIS donde se modela y digitaliza el viario, localiza el centro objeto de estudio y los centros adyacentes que influyen sobre la movilidad y es el soporte de la automatización y seguimiento de la toma de datos.

El sistema de información no solo gestiona la entrada de datos sino que además sirve de soporte a los trabajos de campo mediante la generación de fichas de toma de datos en base a la digitalización del viario. Las fichas de toma de datos son generadas en base a la digitalización del viario mediante un grafo dirigido  $G(V, A)$ , donde los vértices son intersecciones y los arcos los sentidos de desplazamiento (Figura 6). La base de la digitalización del viario son las ortofotos (fotografía aérea normalizada e importada desde el GIS).

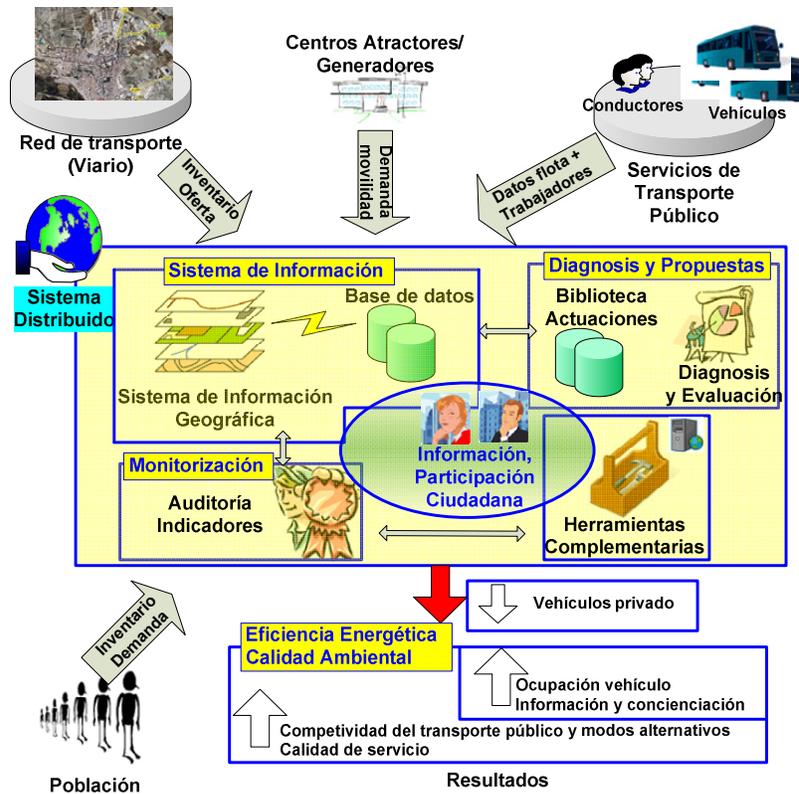
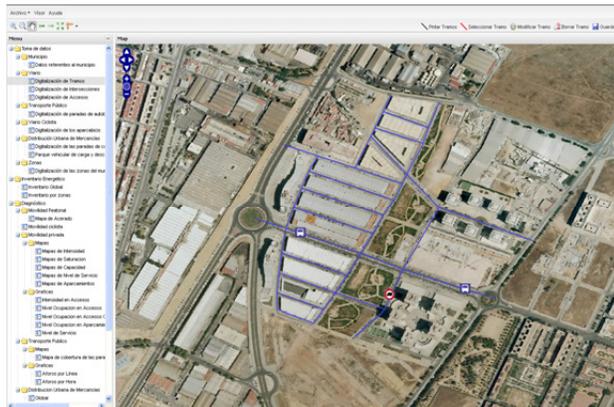


FIGURA 5: Diseño Conceptual del Sistema



DENOMINACIÓN DEL TRAMO			
NODO ORIGEN	NODO DESTINO	Nombre calle	
Sentido único	Carril Bici	S / N	
Doble sentido	Carril BUS-VAO	S / N	Nº carriles
OFERTA TRANSPORTE			
ACERADO	ACERA DERECHA	ACERA IZQUIERDA	
Ancho acerado (m)	Nº Plazas	Nº Plazas	
<b>APARCAMIENTOS</b>			
Aparcamiento Batería			
Aparcamiento Cordon			
<b>RESERVA ESPACIOS</b>	Nombre	Horario	Horario
Zonas de C/D			
Movilidad Reducida	Nº Plazas	Nº Plazas	
Aparcabicis			
Existencia de Vados	S / N	S / N	
Nº Pasos de cobra		Nº Pasos de cobra sobreelovados	
DEMANDA TRANSPORTE			
APARCAMIENTOS	ACERA DERECHA	ACERA IZQUIERDA	
	Nº Plazas	Nº Plazas	
	Mañana	Tarido	Mañana
			Tarido

FIGURA 6: Digitalización del Viario Mediante un Grafo y Ficha de Toma de Datos de Calles

### 3.2 Subsistema de Diagnóstico

La diagnosis de la movilidad no es una tarea simple que se pueda establecer en base al valor de un indicador. Las actuaciones en base a un diagnóstico dependen de diversos factores que en muchos casos es un experto o conjunto de expertos quien decide sobre el diagnóstico y la forma de actuación sobre los problemas.

La principal cualidad de este sistema es el desarrollo y automatización de procesos que comúnmente se han ido desarrollando en el ámbito de la movilidad y que han servido de base para establecer un diagnóstico de la situación y propuesta de actuaciones de mejora de la movilidad.

La etapa de diagnóstico de la movilidad puede estructurarse en 2 puntos:

- **Diagnóstico de la movilidad.** Proceso de análisis de la información asociada a los desplazamientos que se realizan, en relación a la oferta de transporte disponible y las necesidades de movilidad expresada en la demanda. En relación de la oferta se analiza los diferentes modos de transporte, la disponibilidad y medios disponibles. La demanda se centra en conocer las necesidades de desplazamiento en el área objeto de estudio.
- **Inventarios energéticos y ambientales.** El objetivo final de un plan de movilidad urbana sostenible es un inventario energético y medioambiental que sirva de base para el análisis de la evolución o tendencia del municipio. El inventario energético es el primer indicador donde se exprese la bondad de las actuaciones que se propondrán en la siguiente fase.

Al igual que la fase de toma de datos, el proceso de diagnóstico también está sujeto a tareas de monitorización y seguimiento de los trabajos.

Aunque, en muchos casos el diagnóstico se desarrolla finalizado el proceso de toma de datos, no tiene por que ser así, ya que parte es posible desarrollarlo en paralelo a la toma de datos. El proceso de diagnóstico puede dividirse en varias etapas. La primera es la etapa más crítica ya que mientras esta etapa no concluya mantiene bloqueada el resto de etapas. La etapa puede desarrollarse en paralelo a la toma de datos y es donde se diseña físicamente la base de datos, ordenando cada uno de éstos de manera adecuada para los cálculos necesarios en las diferentes etapas de la diagnosis.

La etapa 2 permite la evaluación estadística de los datos obtenidos a partir de las encuestas, analizando de manera pormenorizada la información. La etapa 3 es algo más compleja y amplia que la anterior, ya que profundiza en el análisis de los datos relativos a la red viaria existente en la localidad. Esta fase se analiza la “Red Peatonal”, en el que se detallan las vías existentes y caracterización del espacio reservado a los peatones en la localidad, así como sus principales deficiencias. La “Red Viaria de Acceso” caracterizando cada uno de los accesos a la localidad y analizando las intensidades de tráfico en los diferentes sentidos de circulación. La “Red Viaria Interna” estudia las características y posibilidades del viario interno así como el uso que se hace de éste, esta etapa se divide en análisis de la intensidad de tráfico, cálculo de la capacidad de las vías y nivel de servicio. El sistema de información geográfica es el soporte base para la obtención de mapas gráficos y representativos del municipio.

En la etapa 2 también se analiza aspectos de “Seguridad vial” en la que se evalúa los puntos relativos a la adecuación de la señalización y disposición de las interferencias viales, para poder concretar y gestionar los posibles problemas existentes en este ámbito. Una vez concluida se analizan las infraestructuras existentes en materia de “Movilidad ciclista”, así como si estas infraestructuras se encuentran de manera adecuada, analizándose su uso en función de la capacidad existente. En este punto se ha de destacar todas dificultades existentes en esta modalidad de transporte. Como no, un punto esencial en el análisis sobre la movilidad es el estudio de “Los medios de transporte público”, determinando como funcionan estos en función de las necesidades existentes, así como la idoneidad de las instalaciones. Es importante la comprobación del rango de ciudadanos que cubre este servicio y la determinación de las deficiencias en determinadas zonas respecto a la posibilidad de acceso a este medio.

Otro punto a estudio básico son los “Aparcamientos”, en el que se realiza un análisis exhaustivo del uso que se realiza de estos en la localidad, así como la localización y gestión de los espacios reservados para tal efecto. Por último se encuentra el análisis de la “Carga y descarga de mercancías”. Este apartado se centra en el análisis de los espacios reservados para la carga y descarga de mercancías en la localidad, así como la gestión y funcionamiento del uso que se hace para tal efecto. De igual manera se realiza un análisis del uso para la carga y descarga de no zonas no reservadas para tal efecto.

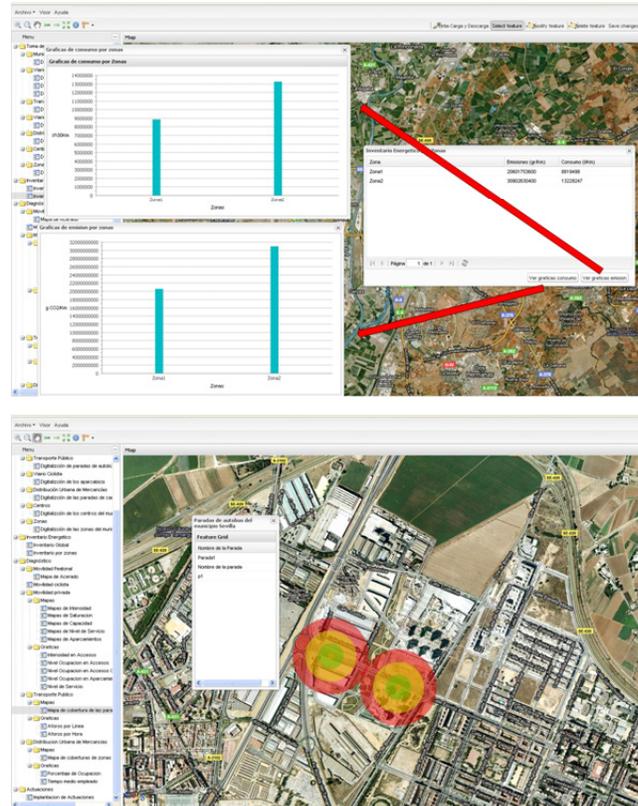


FIGURA 7: Ejemplo de Resultados de Diagnóstico de la Movilidad

La etapa 3, estudia a partir de los datos existentes cual es la tendencia en el parque automovilístico en la localidad, así como cual es la evolución en los distintos accesos de la localidad, pudiéndose prever así posible incidencias futuras en estos lugares y de manera global en la localidad.

La etapa 4 “Análisis de la matriz origen destino” analiza la movilidad de los grupos poblacionales en la localidad, a partir de las muestras estadísticas y separación zonal. Esto permite identificar un recorrido kilométrico medio, y número de viajes entre las zonas previamente identificadas para el estudio. Así se puede obtener una estimación de cómo se mueve la población y el recorrido total de kilómetros que se realizan al día.

Finalmente y enlazada con la etapa anterior se encuentra la etapa “Inventario energético y ambiental”, la cual permite realizar una estimación de los contaminantes que se generan en los desplazamientos cotidianos, así como del consumo total de combustibles fósiles, mediante dos metodologías distintas: Método agregado y método desagregado. Una vez finalizado el inventario energético se concluiría con la fase de diagnóstico centrada en la generación de un modelo de emisión que prediga a partir de los datos obtenidos el ruido generado en las diferentes vías de la ciudad por el tránsito rodado teniendo en cuenta las características estructurales y alrededores de las vías.

El inventario energético y ambiental es un instrumento estratégico que permite conocer el consumo energético y las emisiones contaminantes debidas a la movilidad y así establecer objetivos y compromisos de reducción en forma de cuantificar los resultados esperados de la aplicación de actuaciones de eficiencia energética. El inventario se realiza a partir de la demanda de movilidad del municipio y de factores de emisión (Tabla 2) representando con un mapa de consumo y emisiones por calles.

**TABLA 2: Factores de Emisión según Tipología de Vehículo**

FACTOR DE EMISIÓN [gr/pasajero Km]	Vehículo privado	Autobús	Tren (diesel)	Tren (eléctrico)
CO <sub>2</sub>	240	70	80	16
CO	21	1	0.01	0.001
HC	2.9	0.5	0.004	0.0004
NO <sub>x</sub>	1.5	0.9	0.3	0.05

**3.3 Subsistema de Propuestas y Actuaciones (Herramientas)**

Las propuestas o actuaciones en el ámbito de la movilidad están basadas en los resultados del diagnóstico y tienen como objetivo mejorar la situación actual.

Al igual que los anteriores módulos, el subsistema de actuaciones presenta un gestor de base de datos, modelo de decisión y la interfaz de usuario. El gestor de base de datos almacena las actuaciones asociándole un coste económico, valores de indicadores implicados en su selección e indicadores para la monitorización de actuaciones. El modelo de decisión es el encargado de seleccionar diferentes alternativas de implantación en base a la diagnosis y reglas de decisión establecidas en función de indicadores. La interfaz de usuario no solo muestra las alternativas sino que debe ser un soporte interactivo donde se describa el plan de implantación de las soluciones, permita la actualización o incorporación de nuevas reglas de decisión y nuevas actuaciones.

**3.4 Subsistema de Monitorización**

Es el encargado de velar por el éxito de las actuaciones mediante el seguimiento de indicadores. El proceso de seguimiento establece, en función de las medidas asociadas, la información recopilar basándose en las fichas de toma de datos. Así mismo, este sistema a partir de la información asociada a los indicadores establece el nivel de desviación o problemas en la implantación proporcionando posteriormente recomendaciones sobre medidas complementarias y/o potenciadoras.

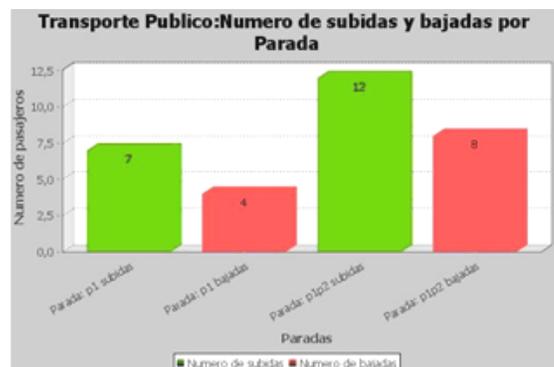
**3.5 Subsistema de Gestión y Participación Ciudadana**

La participación ciudadana es una pieza clave para el éxito del plan. El proceso de participación está estructurado en 2 fases complementarias, fase virtual y presencial. El subsistema de gestión organiza cada uno de los agentes involucrados en el plan, vecinos, asociaciones, transportistas, administración pública y mediante un sistema virtual provee de información de la evolución de cada una de las fases, además sirve de agenda para las sesiones presenciales, como punto de información y foro de opinión mediante la plataforma virtual disponible 24 horas al día, 365 días al año.

**4. RESULTADOS**

El sistema descrito se encuentra actualmente en fase de pruebas y validación. Los resultados obtenidos en esta fase se centran en el desarrollo de pruebas sobre diferentes municipios (en concreto en un municipio de la zona metropolitana de Sevilla). El primer paso en el desarrollo de un plan de movilidad es la digitalización del viario donde se define un grafo dirigido que representa las intersecciones y calles. Simultáneamente el sistema genera las fichas de toma de datos que serán la referencia en los trabajos de campos y en la actualización de la base de datos del sistema de información geográfica (Figura 7.)

El subsistema de diagnosis proporciona información sobre la movilidad en la zona de estudio, a partir de los datos recopilados se generan indicadores, gráficas y mapas que sirven de base al diagnóstico de la situación actual. Las gráficas se estructuran en movilidad peatonal, movilidad ciclista, movilidad privada (aparcamiento e desplazamiento, figuras 8 y 9), movilidad transporte público y movilidad transporte mercaderías.



**FIGURA 8: Ejemplo de Resultados de Diagnosis de la Movilidad**

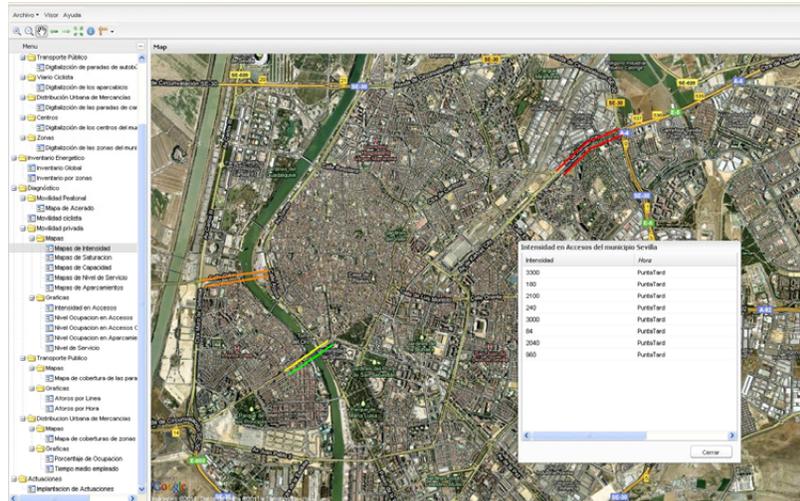


FIGURA 9: Mapas de Intensidad

El diagnóstico finaliza con el desarrollo de un inventario energético y ambiental en base las encuestas de movilidad desarrollada en la toma de datos. Las encuestas de movilidad permiten estimar la matriz de viajes que describe los desplazamientos entre cada par de zonas definidas la zona de estudio (Figura 10).

Finalmente los inventarios energéticos y ambientales se obtienen en base a la distancia media de desplazamiento, velocidad media y la tabla de factores de emisión (Tabla 2). Los resultados se obtienen de forma agregada y desagregada por zonas (Tabla 3).

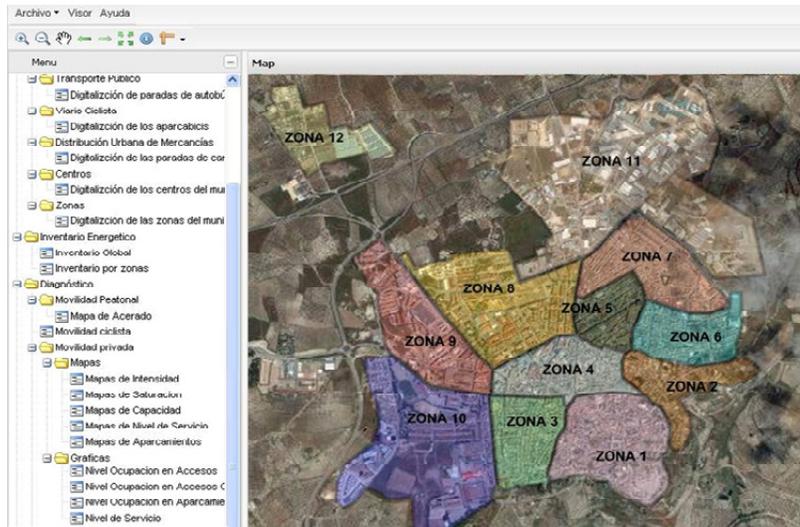


FIGURA 10: Zonificación

TABLA 3: Inventario Energético y Ambiental en Base a la Movilidad por Zonas

	Consumo comb.	Emisiones CO2	Emisiones CO	Emisiones HC	Emisiones NOx
1	65,05	243,92	21,34	2,95	1,52
2	1,86	6,97	0,61	0,08	0,04
3	305,79	1.146,71	100,34	13,66	7,17
4	167,78	629,19	55,05	7,60	3,93
5	109,42	410,31	35,90	4,96	2,58
6	77,41	290,30	25,40	3,51	1,81
7	403,83	1.514,35	132,51	18,30	9,46
8	4.256,78	15.962,93	1.396,76	192,89	99,77
9	121,14	454,29	39,75	5,49	2,84
10	346,14	1.298,04	113,58	15,68	8,11
11	320,60	1.202,26	105,20	14,53	7,51
12	28,50	106,87	9,35	1,29	0,67
13	98,44	369,16	32,30	4,46	2,31
<b>TOTAL Tm/año</b>	<b>6.303</b>	<b>23.635</b>	<b>2.068</b>	<b>286</b>	<b>148</b>

## 5. CONCLUSIONES

En los últimos años, se han desarrollado una gran variedad de planes de movilidad urbana sostenible que en gran medida siguen unas pautas generales muy parecidas pero con gran disparidad en cuanto a técnicas y procedimientos que han incidido en la imposibilidad de tener una base común y estándar que sirva de base de conocimiento para una estrategia común y coordinada entre municipios. Esta disparidad entre los contenidos de los planes de movilidad urbana sostenible se ve agravada en que las agencias locales, provinciales y autonómicas de la energía no disponen de medios de estandarización de trabajos que permita transponer medidas entre municipios.

La existencia de herramientas de transporte ha sido de ayuda en muchos casos a la elaboración de trabajo, pero ha implicado la utilización de diversas herramientas que se caracterizaban por la falta de integración entre ellas. La necesidad de diseñar y desarrollar metodologías estandarizadas permite implementar una herramienta que incluya cada uno de los aspectos a considerar en la elaboración de planes de movilidad. Los inventarios energéticos y ambientales es una de las principales aportaciones que la mayoría de los sistemas de gestión de la movilidad no incluyen y que en el futuro se hace muy necesario.

El siguiente trabajo incide no solo en la estandarización del desarrollo de planes de movilidad sino que proporciona técnicas y herramientas que de forma semi-automatizada permita el desarrollo y control de planes de movilidad. Este trabajo se ha centrado:

- Normalización de los trabajos de toma de datos mediante el desarrollo de una herramienta de digitalización y generación de fichas.
- Automatización del proceso de diagnosis en base a la toma de datos.
- Biblioteca de actuaciones parametrizadas por características del municipio
- Sistema de seguimiento y gestión de pmus, monitorización de actuaciones y recomendación de actuaciones en base a indicadores.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha desarrollado dentro del proyecto SIE2-PMUS (Sistema Integral para la Elaboración y Evaluación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible) financiado por el Ministerio Ciencia e Innovación en el Subprograma Nacional de Movilidad Sostenible de la Acción Estratégica de Energía y Cambio Climático (Referencia E 26/08).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEME/CERTU. Plans de déplacements urbains et marchandises en vile. Réflexions à destinations des élus. ADEME/CERTU 2001.
- Avances de emisiones Gases de efecto invernadero. Secretaría de estado de cambio climático. Ministerio de medio ambiente, y medio rural y marino. 2009  
[http://www.mma.es/secciones/calidad\\_contaminacion/atmosfera/emisiones/pdf/Avance\\_Inventario\\_de\\_Emisiones\\_GEI.pdf](http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/atmosfera/emisiones/pdf/Avance_Inventario_de_Emisiones_GEI.pdf) (last accessed December 2010)
- Berkowicz R., Winther M., Ketzler M. (2006). Traffic pollution modelling and emission data. *Environmental Modelling & Software* 21 ,454-460.
- Berkowicz R, Ketzler M, Solvang Jensen S, Hvidberg M, Raaschou-Nielsen (2008) O. Evaluation and application of OSPM for traffic pollution assessment for a large number of street locations. *Environmental Modelling & Software* 23, 296-303.
- Brown A.L. Affum J.K.(2002). A GIS-based environmental modelling system for transportation planners. *Computers. Environment and Urban Systems*. 2002 577-590.
- Coman A, Lonescu A, Candau Y (2008). Hourly ozone prediction for a 24-h horizon using neural networks. *Environmental Modelling & Software* 23, 1407-1421.
- Costabile,F, Allegrini I. (2008). A new approach to link transport emissions and air quality: An intelligent transport system based on the control of traffic air pollution. *Environmental Modelling & Software* 23, 258-267.
- EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2009. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009> ((last accessed December 2010)
- Encuestas de movilidad de las personas residentes en España. MOVILIA (2007).[http://www.fomento.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/INFORMACION\\_MFOM/INFORMACION\\_ESTADISTICA/movilia/](http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/INFORMACION_MFOM/INFORMACION_ESTADISTICA/movilia/) (last accessed December 2010)
- Guidance on Second Local Transport Plans. Progress Reports (2008), Department for Transport, London.  
<http://www.dft.gov.uk/pgr/regional/lt/> (last accessed December 2010)
- Guía práctica para la elaboración e implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible (2006), Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Madrid . ISBN: 978-84-86850-98-2.
- Guía práctica para la elaboración e implantación de Planes de Transporte a trabajadores,(2006) Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Madrid. ISBN: 978-84-86850-99-9.
- Hall, S., Titherridge, H., Banister D., (1999). ESTEEM: a GIS-based model for assessing the sustainability of Urban Development Policies. *Proceedings of CUPUM'99 Conference, Venice 8-11 September, 1999.*
- Hansen J, Sato M, Ruedy R, Lacis A, Oinas V(2009) Global warming in the twenty-first century: An alternative scenario. *International Energy Agency Key words* 2007.
- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Pachauri, R.K. y Reisinger, A.]. IPCC, Ginebra, Suiza.
- Lautso, K., Martino, A. & Toivanen, S. (1998). SPARTACUS: an integrated system to assess transport and land-use urban sustainability policies. *International Symposium on Technological and Environmental Topics in Transports, 27-29 October 1998.*
- Mehrez Samaali, Stéphane François, Jean-François Vinuesa, Jean-Luc Ponche A new tool for processing atmospheric emission inventories: Technical aspects and application to the ESCOMPTE study area *Environmental Modelling & Software*, Volume 22, Issue 12, December 2007, Pages 1765-1774.

Ministero dei Trasporti “PIANO GENERALE DELLA MOBILITÀ.2001  
<http://www.trasportiambiente.it/pianif.html> Legge Finanziarla 2007. (last accessed December 2010)

Owen, B., Edmunds, D. J., & Carruthers, D. W. (1999). Use of a new generation urban scale dispersion model to estimate the concentration of oxides of nitrogen and sulphur dioxide in a large urban area. *The Science of the Total Environment*, 235, 277–291.

Panagiotis Symeonidis, Ioannis Ziomas, Athena Proyou (2004). Development of an emission inventory system from transport in Greece. *Environmental Modelling & Software* 19, 413–421.

Salazar-Ruiz E., Ordieres J.B, Vergara E.P., Capuz-Rizo S.F.(2008)Development and comparative analysis of tropospheric ozone predictionmodels using linear and artificial intelligence-based models in Mexicali,Baja California (Mexico) and Calexico, California (US). *Environmental Modelling & Software* 23 1056-1069.

Samaali M, Francois S, Vinuesa J, Ponche J, (2007). A new tool for processing atmospheric emission inventories: Technical aspects and application to the ESCOMPTE study area. *Environmental Modelling & Software* 22 1765-1774.

Tang U.W., Wang Z.S. (2007). Influences of urban forms on traffic-induced noise and air pollution: Results from a modelling system. *Environmental Modelling & Software* 22 1750-1764.

Taylor, M. A. P, Wooley, J. E., Young, T. M., & Clement, S. J. (1994). Energy and environmental effects of road traffic, SENRAC Report No. 4. Australia: Transport Systems Centre, University of South Australia.