



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Herramienta de evaluación de estrategias en planes de movilidad urbana sostenible

Autor: Jesús Racero Moreno

Institución: FIDETIA. Fundación para la Investigación y el Desarrollo de las
Tecnologías de la Información en Andalucía

e-mail: jrm@esi.us.es

Otros Autores: Manuel Bada (ISOIN); Luis Manuel Campos (FIDETIA); Marta
Hernández (FIDETIA); Gregorio Racero (FIDETIA)

RESUMEN

La Unión Europea promueve el Pacto Local contra el Cambio Climático en el que las Corporaciones Locales adheridas se comprometen a reducir el 20 % de las emisiones de CO₂ de sus municipios para el año 2020. Para conseguir el cumplimiento del compromiso de reducción de emisiones, los municipios adheridos al Pacto se comprometen a elaborar el denominado Plan de Acción de Energía Sostenible (PAES), en el que se incluyen las actuaciones planificadas en el ámbito de las competencias municipales y los impactos previstos sobre las emisiones de CO₂. El sector transporte con el 40% de emisiones de gases de efecto invernadero es una de las principales fuentes. Este sector se caracteriza por ser difuso, es decir que las emisiones depende de las decisiones particular de cada ciudadano. Así mismo emisiones contaminantes y consumo energético van intrínsecamente unido en el momento que la principal fuente de energía son los combustibles fósiles. Por tanto un aumento de la eficiencia energética repercutirá en una disminución de las emisiones del sector. Los planes de movilidad urbana sostenible surgen como una herramienta de diagnosis y propuesta de estrategias con el objetivo de aumentar la eficiencia energética y calidad ambiental. Estos planes se centran en analizar la situación actual abarcando todos los aspectos relacionados con la movilidad e incluyendo aspectos urbanísticos, económicos y sociales. Los resultados esperados se centran en la propuesta de un conjunto de actuaciones en diferentes ámbitos que afectando sobre la movilidad permitan aumentar la eficiencia energética y calidad ambiental.

Palabras Clave: Movilidad; Estrategias;

Herramienta de evaluación de estrategias en planes de movilidad urbana sostenible

Jesús Racero

FIDETIA. Fundación para la Investigación y el Desarrollo de las Tecnologías de la Información en Andalucía

Luis Manuel Campos (FIDETIA) Manuel Bada (ISOIN); Marta Hernández (FIDETIA); Gregorio Racero (FIDETIA);

Introducción

Cambio climático

La modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional se denomina cambio climático. Esto puede ser debido a causas naturales y a la acción de la humanidad.

En pleno siglo XXI ya pocos son los que dudan de la existencia de un cambio climático global en el planeta. En los últimos años, la investigación científica sobre el cambio climático se ha desarrollado considerablemente, y se ha confirmado que las actividades humanas, como la quema de los carburantes fósiles, son muy probablemente las responsables del cambio climático. El calentamiento del planeta ya está teniendo muchas consecuencias medibles y en el futuro esperan cambios costosos y de gran envergadura.

Influencia del transporte sobre el cambio climático

El acuerdo del protocolo de Kyoto, que entró en vigor en 2004, fijó un exceso de emisiones para España del 15% sobre las emisiones de 1990 mientras que en la unión europea está fijado en una reducción de un 8%. Actualmente, España se encuentra en un 52% sobre el año base siendo el sector del transporte o sector difuso con el 15% una de las principales fuentes (Figura 1).

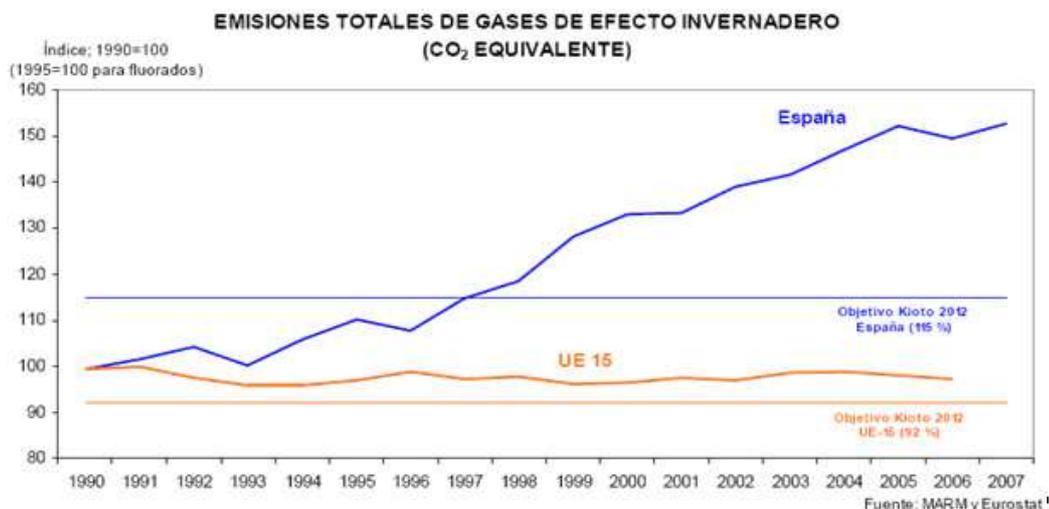


Figura 1. Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero

Analizando pormenorizadamente los sectores, los estudios señalan al transporte por carretera como el mayor contribuyente al calentamiento desde finales del XIX, seguido de la aviación. Otros medios, como el tren, han reducido su influencia durante los últimos años.

El transporte es el responsable del 26% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), el principal gas invernadero, y el transporte por carretera lo es de tres cuartos de este porcentaje. Esta dinámica se debe a la escalada del tráfico por carretera y aéreo (que son los medios más ineficientes) junto a la pérdida creciente de eficiencia del transporte, etc.

La contaminación se agrava tanto por situaciones temporales, como las inversiones térmicas, como por la congestión en las horas punta. En Madrid, Barcelona y en otras ciudades españolas año tras año en los meses de noviembre, diciembre y enero la contaminación alcanzará límites excesivos, que generan irritación de las vías respiratorias y efectos nocivos a largo plazo para la salud.

1.3 La situación del transporte en España

Aparte de las consecuencias derivadas de la emisión de gases al medio ambiente, el transporte genera otros 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 prevé 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 considerable 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” (MOVILIA, 2007). 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.

1.4 Objetivos

La Unión Europea promueve el Pacto Local contra el Cambio Climático en el que las Corporaciones Locales adheridas se comprometen a reducir el 20 % de las emisiones de CO₂ de sus municipios para el año 2020.

Para conseguir el cumplimiento del compromiso de reducción de emisiones, los municipios adheridos al Pacto se comprometen a elaborar el denominado Plan de Acción de Energía Sostenible (PAES), en el que se incluyen las actuaciones planificadas en el ámbito de las competencias municipales y los impactos previstos sobre las emisiones de CO₂.

Los planes de movilidad urbana sostenible surgen como una herramienta de diagnóstico y propuesta de estrategias con el objetivo de aumentar la eficiencia energética y calidad ambiental. Estos planes se centran en analizar la situación actual abarcando todos los aspectos relacionados con la movilidad e incluyendo aspectos urbanísticos, económicos y sociales. Los resultados esperados se centran en la propuesta de un conjunto de actuaciones en diferentes ámbitos que afectando sobre la movilidad permitan aumentar la eficiencia energética y calidad ambiental.

El siguiente trabajo tiene como objetivo el diseño y desarrollo de una herramienta de evaluación y seguimiento de planes de movilidad urbana sostenible, que permita en base a unos parámetros del municipio evaluar el impacto de la implantación de la movilidad en el consumo energético y emisiones de gases contaminantes y que sirva de sistema de monitorización y seguimiento de estrategias.

El siguiente documento está estructurado en varios apartados, el segundo punto se centra en la descripción de los planes de movilidad urbana sostenible y planes de transporte a trabajadores en España y Europa, a continuación se describe herramientas disponible en el mercado que son empleadas para la elaboración de planes de movilidad, posteriormente se describe el diseño de una metodología junto con un sistema integrado que sirve de referencia para el sistema de evaluación mostrando resultados de la aplicación en diversos municipios andaluces.

Planes de transporte

Planes de movilidad urbana sostenible y planes de transporte a trabajadores

Los planes de movilidad urbana sostenible (PMUS, 2006) 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 mediante los **Plan de déplacements urbains (Planes de desplazamiento urbanos-PDU)** 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) italiano tienen como objetivo la diagnosis, el diseño e implantación de medidas que aumenten la eficiencia energética en el desplazamiento y mejoren la movilidad.

Actualmente en España se disponen de dos guías 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.

Herramientas y sistemas en el desarrollo de planes de movilidad

Los sistemas de información geográfica

Hoy en día la información geográfica, puede ser transferida, editada, visualizada, superpuesta, procesada utilizando muchas aplicaciones informáticas, algunas en el mercado y otras de forma gratuita. En la industria de las empresas dedicada a comercialización de SIG como ESRI, Intergraph, Mapinfo, Autodesk o Smallworld ofrecen un conjunto completo de aplicaciones.

Los SIG han tenido su auge desde hace unos años atrás. En los años 90 los datos de los SIG se localizaban en grandes ordenadores y se utilizaban para guardar registros internos, era independiente del software. Sin embargo, con la llegada de Internet a la sociedad actual cada vez más se está optando por la distribución de datos a través de la red. Los SIG actuales que están en el mercado son una mezcla de aplicaciones interoperables y API.

Las aplicaciones SIG se pueden agrupar en seis secciones dependiendo del tipo de aplicación informática:

SIG de escritorio: Se utilizan para editar, crear, analizar, administrar la información geográfica. Es muy frecuente encontrarse SIG de escritorios de diferentes tipos, los más usuales son:

- *Visor SIG:* Suele ser aplicaciones sencillas que permiten visualizar la información geográfica en el visor, además de poder elegir distintas capas para visualizar.
- *Editor SIG:* Son aplicaciones que su principal función es analizar y procesar la información geográfica. Normalmente hay que tratar los datos heredados o cogidos de otros sistemas y pasarlo a un formato que entienda el software.
- *SIG de análisis:* Son aplicaciones que disponen de la función de análisis espacial y modelización cartográfica de los procesos.

Sistemas de gestión de bases de datos espaciales o geográficos (SGBD espacial). Básicamente se emplean para guardar la información geográfica, aunque también a menudo manipulan y analizan los datos que están almacenados. Una base de datos geográfica o espacial es una base de datos con extensiones que dan soporte de objetos geográficos permitiendo el almacenamiento, indexación, consulta y manipulación de información geográfica y datos espaciales, si éstas tiene implementada funciones de geoprocésamiento, esto implica que puede almacenar datos georeferenciados.

Servidores cartográficos. Se utilizan para distribuir mapas a través de Internet los tipos más utilizados son Open Geospatial Consortium WFS (Web Feature Server) y WMS (Web Map Server).

Servidores SIG. Proporcionan básicamente la misma funcionalidad que los SIG de escritorio pero permiten acceder a estas utilidades de geoprocésamiento a través de una red informática.

Cientes web SIG: Su principal función es acceder a los datos de un servidor SIG. Se hacen distinción entre dos tipos de clientes, ligeros que son los navegadores y tienen la funcionalidad de visualizar y hacer consultas sobre la información del servidor o los clientes pesados que son las aplicaciones de escritorio que éstas permiten editar, analizar y procesar los datos.

Bibliotecas y extensiones espaciales: Son funcionalidades que se le añaden a la herramienta y que no son necesarias para el uso cotidiano de la aplicación. Estas expansiones pueden ser funcionalidades como el paso de un formato externo a otro que utilice la aplicación, módulos de funcionalidades específicas de análisis, etc.

SIG móviles: Estos SIG tienen la principal ventaja de que pueden tomar datos de campo a través de dispositivos móviles (PDA, Smartphone, Tablet PC, etc.). La introducción de datos en estos dispositivos que tienen un sistema de localización GPS integrados permite que los datos que se recojan estén ya georeferenciados.

Para tener una referencia de las aplicaciones y herramientas actuales dedicadas a los SIG se van a mencionar a continuación las más conocidas:

- ArcGIS
- Autodesk Map
- Capaware
- GeoServer
- GRASS
- gvSIG
- IDRISI
- Kosmo
- MapGuide Open Source
- MapInfo
- MapServer
- Quantum GIS
- Udig

Por último destacar que hay muchas disciplinas que se han beneficiado del desarrollo de los SIG y su implantación en Internet. El activo mercado de los Sistemas de Información Geográfica se ha traducido en una reducción de costes y mejoras continuas en los componentes de hardware y software de los sistemas. Esto ha provocado que el uso de esta tecnología haya sido asimilada por universidades, gobiernos, empresas e instituciones que lo han aplicado a sectores como los bienes raíces, la salud pública, la criminología, la defensa nacional, el desarrollo sostenible, los recursos naturales, la arqueología, la ordenación del territorio, el urbanismo, el transporte o la logística entre otros.

Herramientas SIG y modelos aplicados a la movilidad sostenible.

En el apartado anterior se han citado los tipos de aplicaciones SIG que hay en el mercado actual, este apartado se centrará en la descripción de las herramientas 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, 2003):

- 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 1998).
 - IMPEACT (Taylor 1994).
 - PROPOLIS (2001) and ADMS-Urban (Owen, 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): (Contabile,2008), (Ruwin,2008)
 - Es una extensión aplicable a ArcView GIS, con la funcionalidad de calcular la contaminación en calles determinadas del municipio.(U.W.Tang,2007), (R. 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.(U.W.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)

Diseño de un plan de movilidad urbana sostenible (PMUS)

Un PMUS se puede estructurar en 5 grandes fases (*Figura 2*). Aunque las cuatro 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 (diagnóstico) 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.



Figura 2. Etapas en la elaboración de planes de movilidad

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 diagnóstico y ayuda a la toma de decisiones en relación a las actuaciones.

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, diagnóstico y actuaciones, si bien al final de cada fase es necesario actos donde se presenten los resultados o informes de las posibles actuaciones y trabajos a realizar. Al igual que las fases anteriores, en esta fase se desarrollan una serie de actividades en las que se incluyen técnicas de gestión de grupos, herramientas y técnicas de sesiones presenciales/virtuales de información y participación.

Sistema de ayuda al diagnóstico y evaluación de planes de movilidad

El sistema de ayuda al diagnóstico de planes de movilidad (Figura 3) es un sistema distribuido que gestiona todo el proceso de toma de datos y diagnóstico de la movilidad. El sistema está formado por 5 bloques que interactúan entre sí para monitorizar los trabajos de toma de datos y obtener los resultados de la diagnosis.

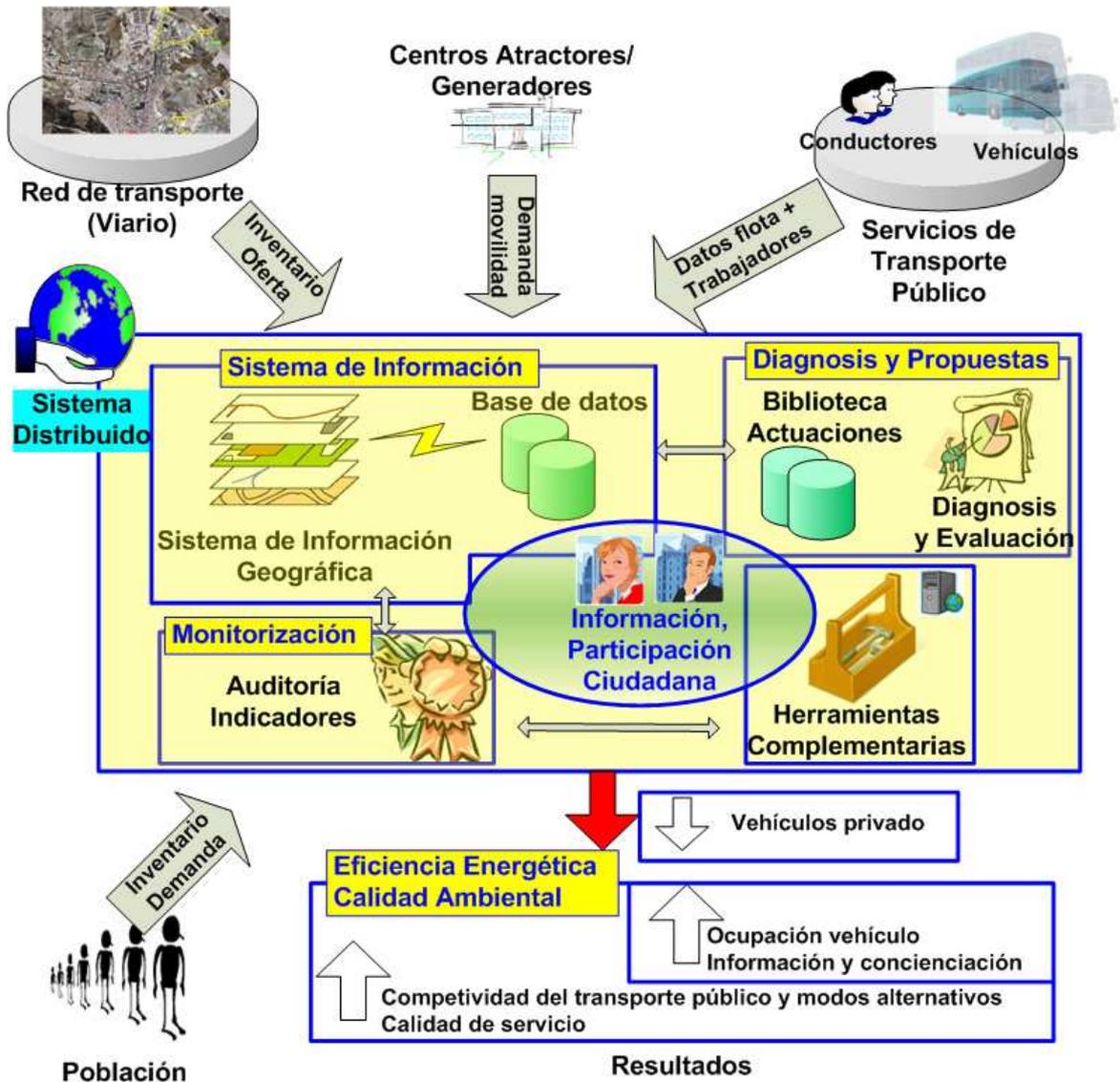


Figura 3. Diseño conceptual del sistema

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 (Figura 4) son generadas en a partir de un grafo dirigido $G(V,A)$, donde los vértices son intersecciones y los arcos los sentidos de desplazamiento. La base de la digitalización del viario son las ortofotos (fotografía aérea normalizada e importada desde el GIS).

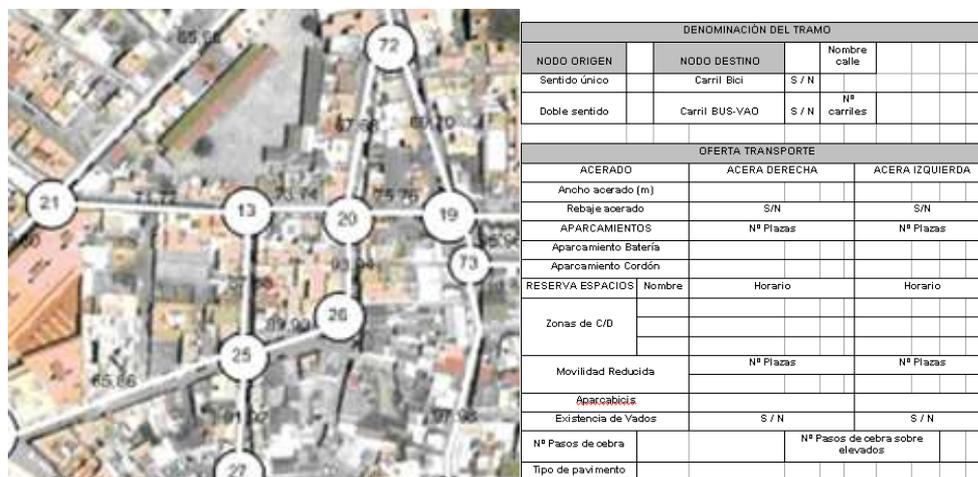


Figura 4. Digitalización del viario mediante un grafo y ficha de toma de datos de calles.

El sistema incorpora la tecnificación de la toma de datos a través de dispositivos móviles HTC, que sirve para georeferenciar fotografías e información obtenida en los trabajos de campo.

Subsistema de diagnosis

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 diagnosis 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 (Figura 5) 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.

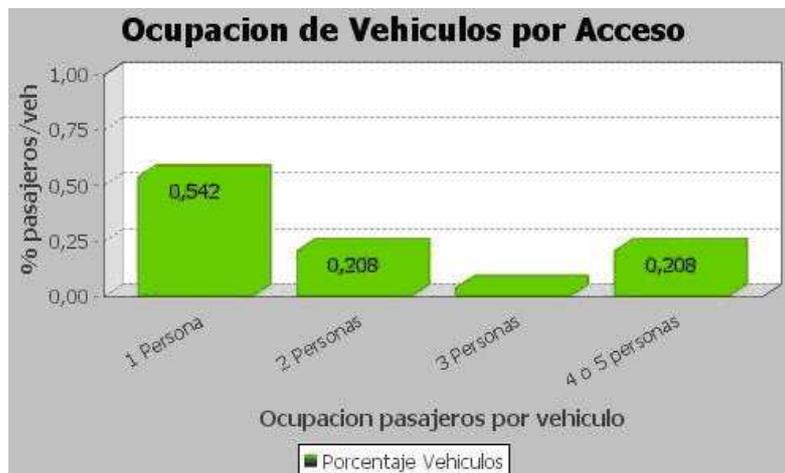


Figura 5. Gráfica de la intensidad de ocupación de vehículos por accesos

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” (Figura 6). 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.

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.



Figura 6. Representación del mapa de cobertura cargas y descarga

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 1) representando con un mapa de consumo y emisiones por calles.

Tabla 1. Factores de emisión según tipología de vehículo

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

Los resultados obtenidos de la aplicación del sistema en el diagnóstico de diferentes municipios pequeños y medianos andaluces (Tabla 2). Una de las principales características que presentan los resultados es que la incorporación de servicios de transporte público incide positivamente en la reducción de las emisiones por habitante como ocurre el caso de Rota. Así mismo, el uso intensivo del vehículo privado en pequeños municipios donde no existen prácticamente ninguna restricción ni desincentivo al uso del vehículo privado induce un mayor consumo energético y emisiones contaminantes que se ve agravado especialmente en áreas metropolitanas donde el número de desplazamiento a la gran urbe por motivos laborales, estudio y compra aumenta.

Tabla 2. Consumo energético y emisiones totales y por habitantes

Municipio	Población	Año	Consumo (tep)	Emisiones GEI (t CO ₂ eq)	Emisiones por habitante	
				CO ₂ eq (t)	CO ₂ eq(t)/hab	Tep/hab
ROTA	29.959	2010	5.385,38	15.498,22	0,52	0,18
PUERTO SERRANO	7.092	2008	717,13	2.079,41	0,29	0,10
ALCALÁ DEL VALLE	5.363	2008	567,80	1.643,99	0,31	0,11
FUERTE DEL REY	1.329	2009	394,54	1.149,86	0,87	0,30
LA GUARDIA DE JAÉN	4.489	2009	1.193,35	3.466,24	0,77	0,27
VILLATORRES	4.544	2009	1.508,45	4.393,95	0,97	0,33
LOS VILLARES	5.661	2008	1.540,05	4.469,79	0,79	0,27
MANCHA REAL	10.754	2008	4.260,93	12.412,88	1,15	0,40
MENGÍBAR	9.378	2008	3.144,45	9.142,46	0,97	0,34
PEGALAJAR	3.145	2008	772,65	2.233,78	0,71	0,25
BAEZA	16.197	2008	3.089,60	8.948,54	0,55	0,19
ALCALÁ LA REAL	22.783	2007	4.499,30	13.001,47	0,57	0,20
LA CAROLINA	15.649	2007	1.613,00	4.655,49	0,30	0,10
ÚBEDA	34.347	2006	6.889,87	23.600,00	0,69	0,20
ARAHAL	18.896	2007	2.652,80	9.947,80	0,53	0,14
BRENES	12.022	2007	509,60	1.911,11	0,16	0,04

EL VISO DEL ALCOR	17.714	2007	1.271,00	4.767,00	0,27	0,07
LA PUEBLA DE CAZALLA	11.013	2007	1.062,10	3.982,70	0,36	0,10
LAS CABEZAS DE SAN JUAN	16.239	2007	1.871,30	7.017,40	0,43	0,12
BORMUJOS	17.955	2007	967,23	3.627,12	0,20	0,05
LA ALGABA	14.064	2007	813,00	3.048,80	0,22	0,06
SAN JUAN DE AZNALFARACHE	19.943	2007	1.874,00	7.027,00	0,35	0,09
SANLÚCAR LA MAYOR	12.221	2007	1.036,40	3.886,50	0,32	0,08

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.

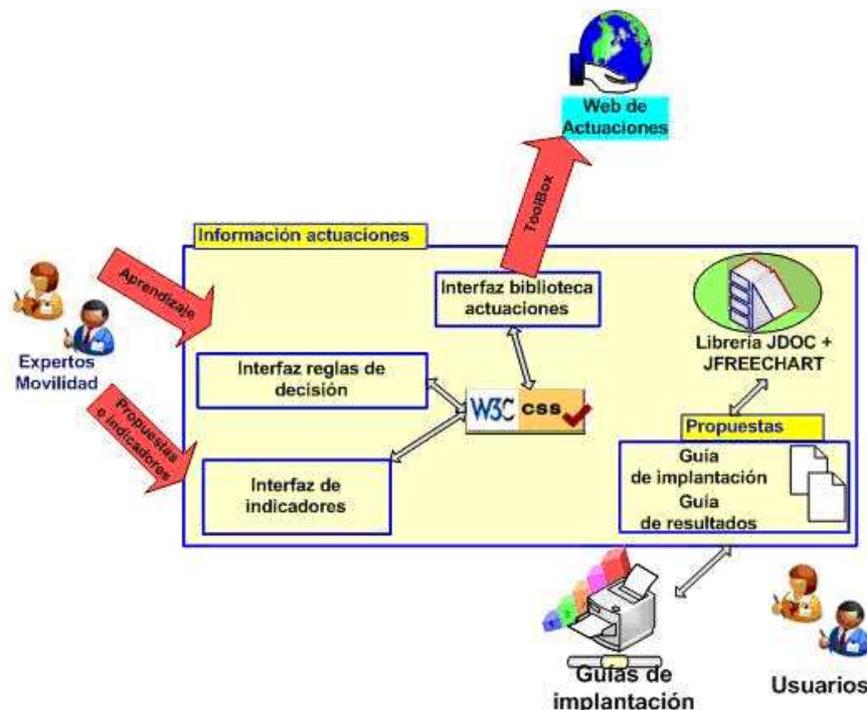


Figura 7. Subsistema de actuaciones y ayuda a la toma de decisión

El sistema (Figura 7) proporciona un conjunto de interfaces que desempeña dos funciones. La primera tiene como objetivo proveer de mecanismo de descripción de actuaciones, donde se indican las causas de su implantación (relación con indicadores de diagnóstico), el plan de implantación y los resultados obtenidos (**Interfaz de indicadores**). La segunda funcionalidad que debe proveer es la capacidad para que los expertos en movilidad indiquen reglas de decisión en base a uno varios indicadores, es

decir una interfaz donde se indiquen actuaciones e indicadores asociados junto con las reglas de decisión (**interfaz reglas de decisión**) que se deben utilizar para la toma de decisión de recomendación de dicha actuación. Las actuaciones deben estar asociadas a planes de implantación, en donde se describa los pasos e hitos de monitorización y seguimiento con reglas de decisión ante desviaciones (**propuestas**). Finalmente esta capa provee de una interfaz de conocimiento compartido donde se genera una web que es empleada como referencia a casos de implantación y resultados obtenidos (**interfaz biblioteca de actuaciones, figura 8**).

Ambas funcionalidades están basadas en hojas de estilo, las librerías jdoc y jfreechart. Las hojas de estilo son la base para la interfaz con los usuarios ya que definen la maquetación de la forma en que se especifica y se muestra la información. Las librerías jdoc y jfreechart son empleadas para generar la documentación de seguimiento e implantación de actuaciones.

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.

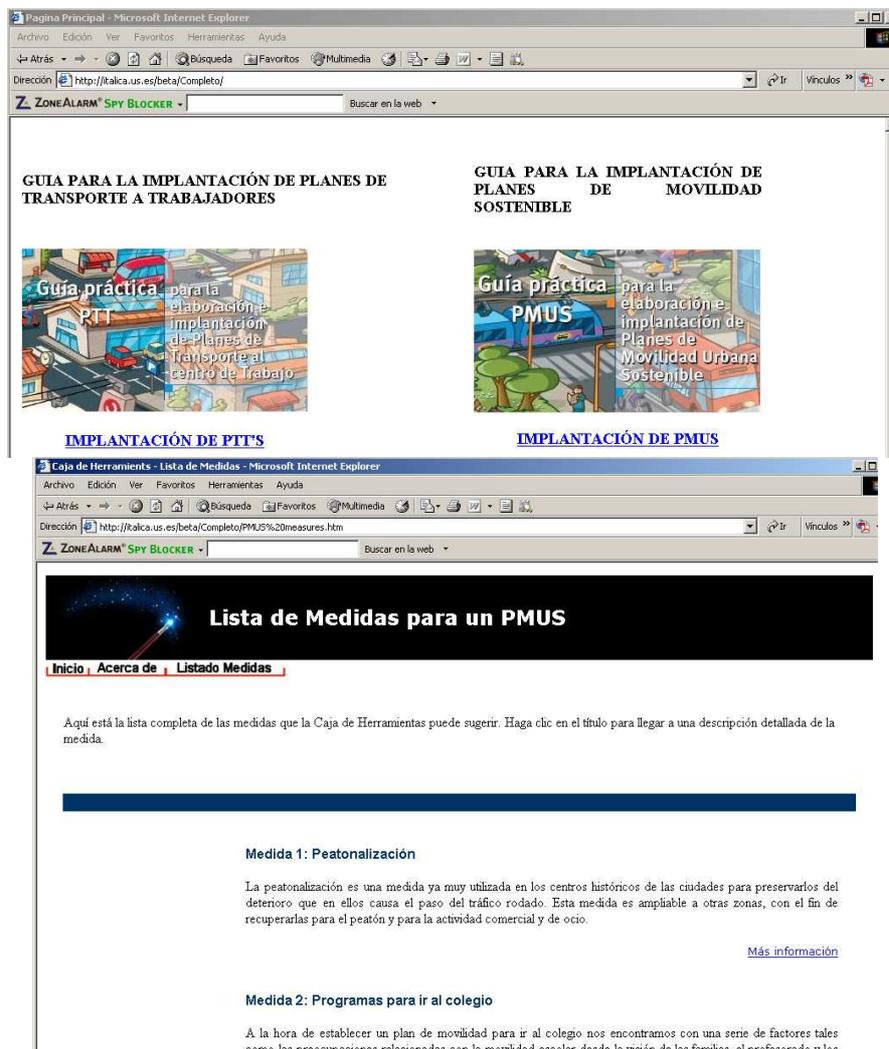


Figura 8. Interfaz de subsistema de información de implantación de actuaciones

Subsistema de Monitorización.

Es el encargado de velar por el éxito de las actuaciones mediante el seguimiento de indicadores (Figura 9). 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.

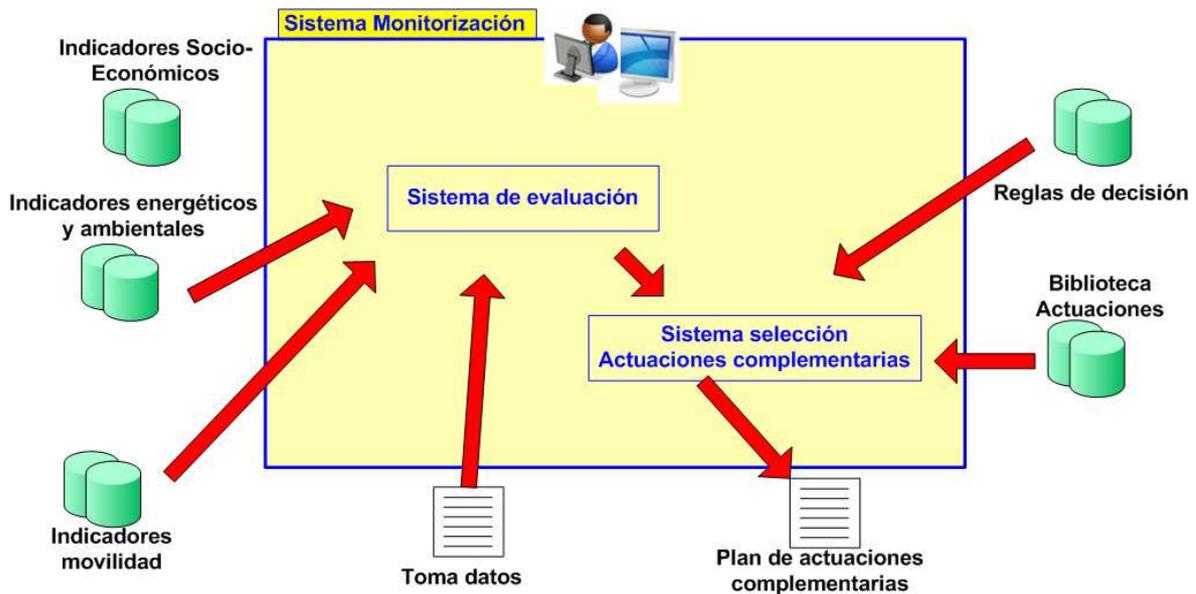


Figura 9. Subsistema de monitorización y evaluación

El sistema de evaluación de actuaciones dispone de una base de reglas de decisión que se encarga de analizar las desviaciones de los indicadores asociados a las actuaciones implantadas. Las desviaciones están clasificadas por varios rangos que son empleados para referenciar actuaciones correctoras y potenciadoras de la Biblioteca de actuaciones.

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.

El proceso de participación ciudadana está basado en una estructura de foros (Figura 10), el consejo del foro coordina todo el proceso de participación y es el encargado de distribuir la información generada por el plan y recopilar las propuestas y actas de trabajo desarrollada por cada una de las mesas creadas.

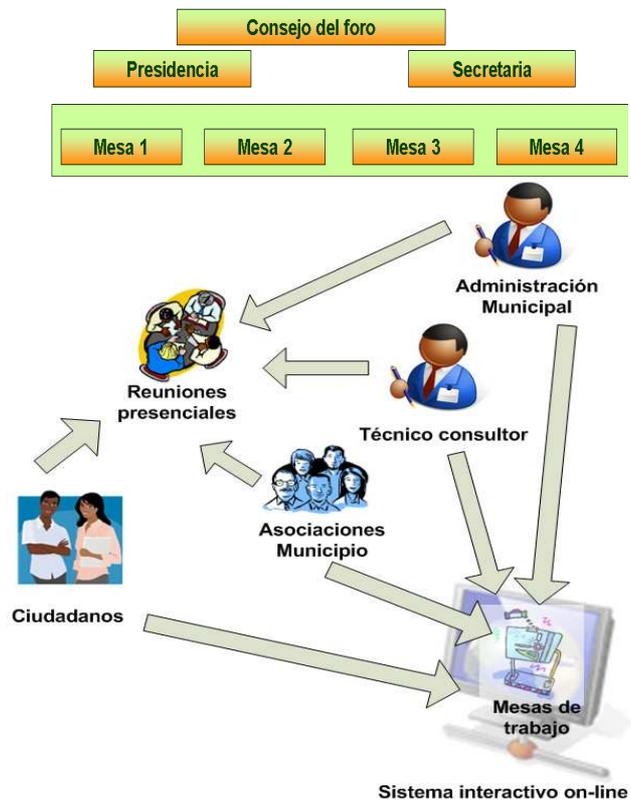


Figura 10. La estructura del proceso de participación costa como mínimo de las siguientes sesiones:

a) Fase I. Toma de datos. Tiene como objetivo localizar a cada una de las asociaciones y agentes afectados por el plan de movilidad. El objetivo de esta fase es disponer de un fichero de datos con asociaciones y agentes que deben ser informados y candidatos en la elaboración del plan de movilidad urbana.



Figura 11. Ejemplo de clasificación de agentes involucrados en el plan de movilidad

Una vez identificada los agentes involucrados se procede a la campaña de información y fijación de la primera sesión de información del plan de movilidad.

b) Fase II. Sesiones de información. La segunda fase tiene objetivo desarrollar todo el procesos de información y participación. Esta segunda fase está estructurada en sesiones de trabajo, que son clasificadas como sesiones de trabajo y sesiones hitos.

Las sesiones hitos son jornadas de participación que tienen como objetivo informar de la evolución del plan y de los resultados obtenidos. Estas sesiones se componen de dos partes, la primera donde se informa de la evolución y resultados obtenidos hasta el momento y una segunda fase que sirve para organizar y poner en común los resultados de las diferentes mesas de trabajo (sesión de trabajo). A continuación se describe brevemente la estructura de las sesiones:

Sesión 1. Inicio plan: La sesión primera está estructurada en dos partes, la primera tiene como objetivo informar que es un plan de movilidad urbana sostenible, conceptos básicos asociados al plan, la estructura del plan (fases, duración y tareas) y la evolución del proceso participativo. Esta primera parte debe ser muy descriptiva con ejemplo de actuaciones acometidas en otros municipios que influyan sobre las inquietudes de los participantes e incidan en una mayor integración y participación.

La segunda parte, tiene como objetivo conocer la percepción que tienen los ciudadanos de la movilidad y el medioambiente en el municipio (No es el lugar donde resolver problemas). El objetivo es la obtención de un análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) de la movilidad en el municipio.

Los resultados obtenidos en esta primera sesión deben servir de base para la elaboración de mesas de trabajos que ayuden en el desarrollo e implantación del plan.

Sesión 2. Evolución toma de datos: La segunda sesión se centra en la constitución de las diferentes mesas de trabajo, así como la formación de sus miembros en la elaboración de actas de trabajo y gestión de la plataforma de información. La sesión está formada por dos partes, la primera meramente formativa donde se describe la evolución de la toma de datos, las funciones de las mesas de trabajo, la tipología de mesas que se constituirán, descripción de las agendas y las funcionalidades. El proceso de formación finaliza con la descripción de la plataforma de información que sirve de centro organizativo y gestión de los trabajos. La segunda parte de la sesión, está orientada a la constitución de mesas y a la asignación de personas a mesas, en base a las inquietudes mostrada por los agentes involucrados.

La estructura de las mesas de trabajo se resume en:

- Interlocutor con la administración local
- Secretario encargado de redactar actas de reunión y documentación generada por la mesa.

- Coordinador de la mesa, encargado de redactar las normas de participación en la mesa y gestión del tiempo de participación.
- Gestor de información, encargado de difundir la información generada a todos los miembros de la mesa mediante los medios disponibles.

A continuación las sesiones de trabajo pueden desarrollarse sin necesidad de consultores o administración local. La plataforma queda a disposición de las mesas para responder las consultas y guiar las mesas de trabajos en tiempo real (Figura 12).

Sesión 3. Diagnóstico. Al igual que las sesiones anteriores se divide en dos partes, la primera se encarga de mostrar los resultados de la diagnosis y de las posibles actuaciones que puede recomendar el plan. La segunda parte debe orientar los trabajos a debatir las actuaciones y proponer un plan de acción o propuestas a los problemas encontrado en la diagnosis.

Sesión 4 Descripción de propuesta. La sesión tiene como objetivo describir las propuestas de actuación asociada al plan, justificando tanto las propuestas propias desarrolladas como las propuestas proporcionada por cada mesa de trabajo. La parte informativa-formativa describe la estructura de una alegación y se debaten las propuestas. La segunda parte de la sesión se destina a los trabajos de las mesas donde se desarrollarán las alegaciones al plan.

Sesión 5. Presentación del proyecto. Presentación final del proyecto, desde el principio del plan hasta las propuestas. La segunda parte del plan se destina al debate de las propuestas y la preparación de alegaciones.

3 Mesa de trabajo de medidas. Gestión y ordenación de la carga y descarga

? Encuestas participantes de la mesa

📄 Problemática de la carga y descarga

Plan de toma de datos

📄 Descripción de la toma de datos

📄 Potenciación de toma de datos

Informe de diagnóstico sobre gestión de la carga y descarga

📄 Informe de diagnosis

Informes, enlaces web y documentos relacionados

Propuestas y medidas de actuación

📄 Medida 1. Ordenación de la carga/descarga

📄 Elaboración del documento de propuesta

Actas de reunión

📄 Acta 1. Presentación y descripción de medidas

Documento final de propuesta

📄 Propuestas sobre gestión de mercancías

📄 Alegaciones a la propuesta

Figura 12. Estructura de mesa de trabajo de carga y descarga urbana (logística urbana)

AGRADECIMIENTOS

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

Referencias bibliográfica

Adriana Coman, Anda Ionescu, Yves Candau (2008). Hourly ozone prediction for a 24-h horizon using neural networks. *Environmental Modelling & Software* 23, 1407–1421

Berkowicz R, Ketzel Matthias, Solvang Jensen Steen, Hvidberg Martin, Raaschou-Nielsen Ole . Evaluation and application of OSPM for traffic pollution assessment for a large number of street locations. *Environmental Modelling & Software* 23,296-303. 2008

Berkowicz R., Winther M, Ketzel M. Traffic pollution modelling and emission data. *Environmental Modelling & Software* 21 ,454-460. 2006

Brown A.L. Affum J.K(2002). A GIS-based environmental modelling system for transportation planners. *Computers. Environment and Urban Systems*. 2002 577-590.

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/CORINAIR Emission Inventory Guidebook 2007.

Guidance on Second Local Transport Plans. Progress Reports (2008), Department for Transport, London. <http://www.dft.gov.uk/pgr/regional/ltpl/> (ultimo acceso Febrero 2010).

Guía práctica para la elaboración e implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible, 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 Reto, Lacis Andrew, Oinas Valdar . Global warming in the twenty-first century: An alternative scenario, 2009.

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* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza.

Lautso, K., Martino, A. & Toivanen, S. . 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, (2007). A new tool for processing atmospheric emission inventories: Technical aspects and application to the ESCOMPTE study area. *Environmental Modelling & Software* 22 1765-1774.

MOVILIA. Encuestas de movilidad de las personas residentes en España.. http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/INFORMACION_MFOM/INFORMACION_ESTADISTICA/movilia/ (último acceso Febrero 2010). 2007

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.

PMUS: Guía práctica para la elaboración de planes de movilidad urbana sostenible.” IDAE 2006 ISBN-13: 978-84-86850-98-2 ISBN-10: 84-86850-98-3.

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

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.

U.W. Tang, Z.S. Wang (2007). Influences of urban forms on traffic-induced noise and air pollution: Results from a modelling system. *Environmental Modelling & Software* 22 175