

Diseño de un sistema GIS de ayuda al diagnóstico en planes de movilidad urbana sostenible

Jesús Racero¹, Ignacio Eguía¹

¹ Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas. Escuela Superior de Ingenieros.. Universidad de Sevilla. Camino de los Descubrimientos s/n, 41092 Sevilla. jrm@esi.us.es., ies@esi.us.es

Resumen

Desde una perspectiva económica o social, son claros los impactos positivos del transporte. Así, la dimensión económica del transporte supone más del 10% del PIB de la Unión Europea. No obstante, el transporte presenta un lado oscuro: el asociado a la eficiencia energética y medioambiente. Este trabajo describe el diseño de un sistema integral de elaboración y evaluación de planes de movilidad urbana sostenible. El carácter integral viene de aglutinar en un mismo sistema la elaboración y la evaluación de estrategias de mejora de la eficiencia energética y calidad medioambiental de la movilidad urbana.

Palabras clave: Movilidad sostenible, Sistemas de información geográfica, gestión de la movilidad, Inventarios energético y ambiental

1. Introducción

1.1. Influencia del transporte sobre el 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 acuerdo del protocolo de Kyoto, que entró en vigor en 2004 (Figura 1), 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 con el 15% una de las principales fuentes.

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.

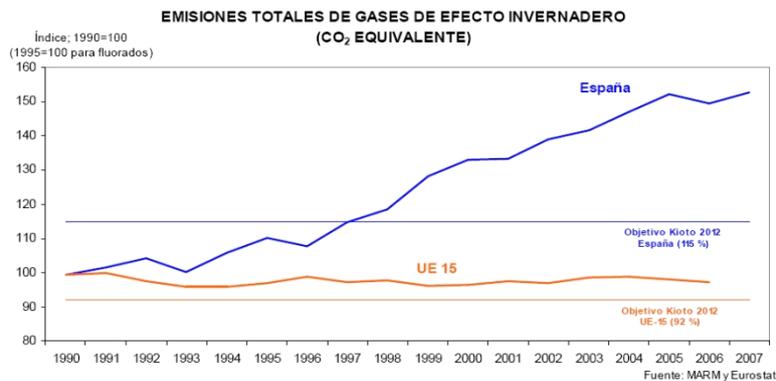


Figura 1. Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero (MMA, 2007)

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.

1.2. La situación del transporte en España

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 (INFRAS-IWW 2004). 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.

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.

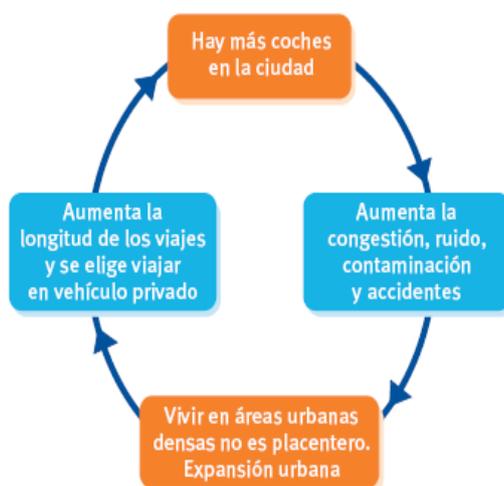


Figura 2. El efecto de la movilidad. (fuente, PMUS 2006)

Ante la necesidad de reducir el impacto negativo del transporte surgen el concepto de movilidad sostenible que es la base para el desarrollo de los **planes de movilidad urbana sostenible (PMUS)** y planes de transporte a trabajadores (**PTT, PTT 2006**).

1.3. Movilidad sostenible

El término “**movilidad**” hace referencia al modo de desplazamiento, es decir, las diferentes posibilidades de desplazamiento que puedan existir. Hay que diferenciar entonces el término “movilidad”, del término “transporte”. “Movilidad” se refiere a todo el colectivo de personas y objetos móviles, mientras que el “transporte” sólo considera traslados de tipo mecánico, olvidando el sector social más importante y abundante: los peatones. Por tanto una definición de movilidad se resume en el conjunto desplazamientos que las personas y los bienes realizan por motivos laborales, formativos, sanitarios, sociales, culturales o de ocio, o por cualquier otro.

Por otro lado, la sostenibilidad hace referencia a los recursos necesarios para el desarrollo de una actividad. La sostenibilidad implica satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades.

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 disparidad entre ellos 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 de describir los procesos y trabajos a diseño de un sistema de información geográfica adaptado al ámbito de planes de movilidad sostenible que sirva de referencia en la obtención de reglas y normas de actuación para aumentar la eficiencia energética en el ámbito de la movilidad urbana.

2. Planes de movilidad urbana sostenible

2.1. Planes de movilidad urbana sostenible y planes de transporte a trabajadores

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 mediante los **Plan de déplacements urbains (Planes de desplazamiento urbanos-PDU, PDU 2006)** iniciados en Francia en el año 1982, los **Local Transport Plans** (Planes Urbanos de Transporte LTP, LTP 2008) ingleses o los **Piani Urbani de Mobilità** (Planes urbanos de movilidad-PUM, PUM, 2003) 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 (PMUS 2006, PTT 2006).

2.2. 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 (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.



Figura 3. 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 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 diagnóstico 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.

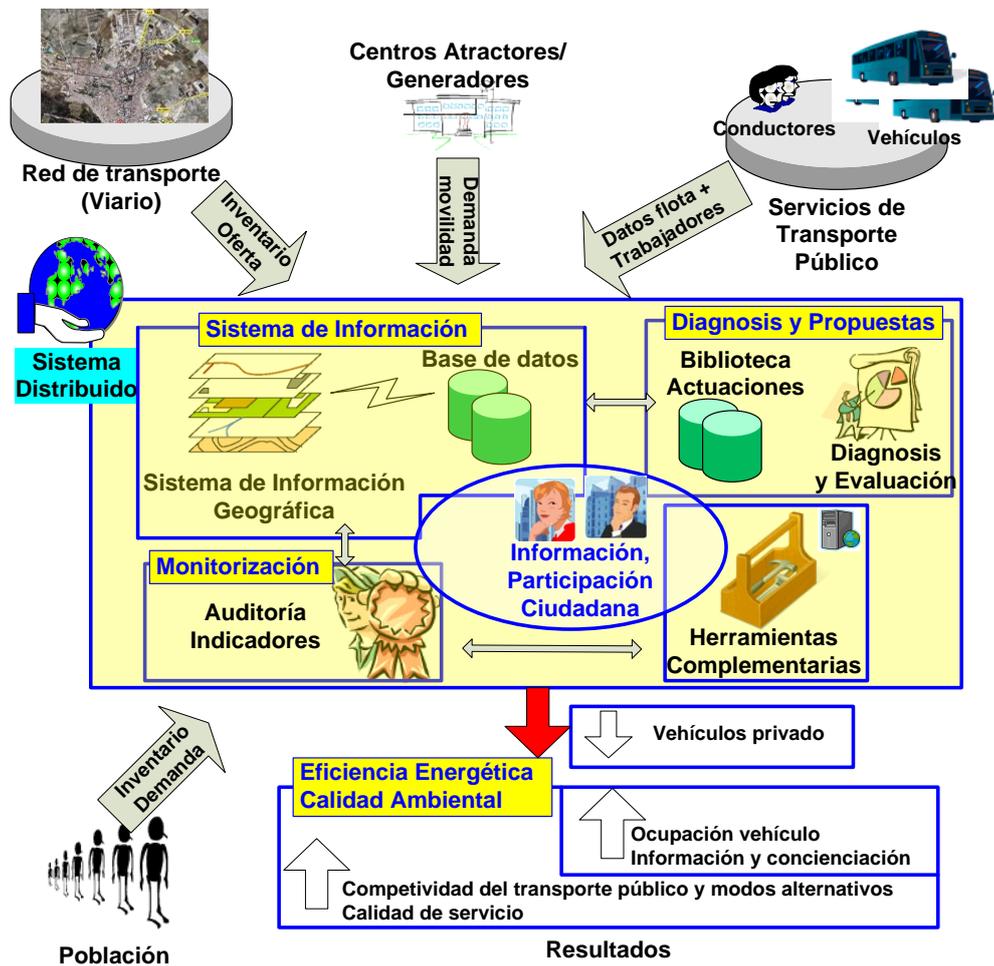


Figura 4. Arquitectura del sistema

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. La base de la digitalización del viario son las ortofotos (fotografía aérea normalizada e importada desde el GIS).

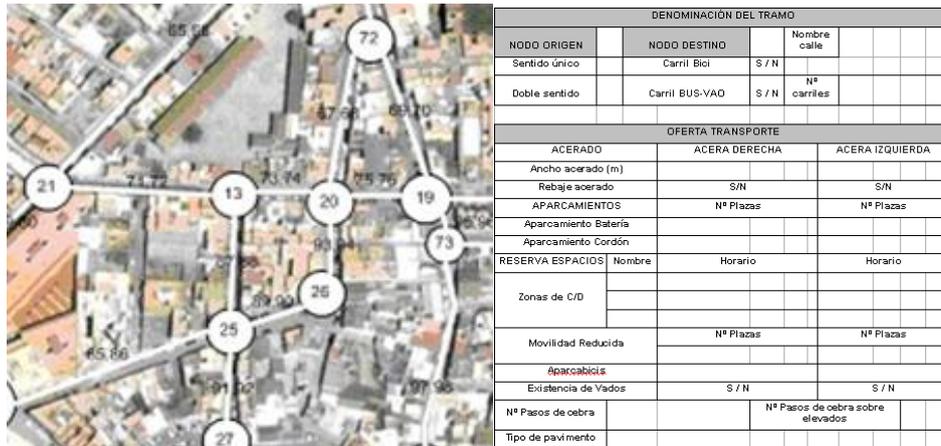


Figura 2. Digitalización del viario mediante un grafo dirigido y ficha de toma de datos de calles.

3.2. 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 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.

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 diagnosis 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 |

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.

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

EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2009

INFRAS-IWW (2004), External Effects of Transport, INFRAS, Zurich y Karlsruhe. (http://www.infras.ch/downloadpdf.php?filename=UpdateExternalCosts_FinalReport.pdf, Mayo 2010)

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

PUM. Metodologie per la redazione e la gestione dei piani urbanistici del traffico e della movilita. Ennio Cascetta , Bruno Montella . ISBN: 8846406524. 2003

MMA. Inventario de gases de efecto invernadero de España. Ministerio de medio ambiente 2007. (http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/atmosfera/emisiones/pdf/sumario_inventario_gei_espana_1990_2005.pdf, último acceso May 2010)

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

PDU. Plans de déplacements urbains - Guide. ISBN : **2-11-095334-9. 2006**

PMU. Ministero dei Trasporti “PIANO GENERALE DELLA MOBILITÀ” (Legge Finanziaria 2007)

PMUS. 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. 200

PTT. 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.