
MODELIZACIÓN DE COSTES ENERGÉTICOS Y MEDIOAMBIENTALES.

ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD EN NÚCLEOS URBANOS.

IGNACIO ZABALZA
ALICIA VALERO (*)

Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos
Universidad de Zaragoza

EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS, EL CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO Y ECONÓMICO HA INTENSIFICADO LA PRESIÓN SOBRE LOS RECURSOS NATURALES, Y EL MEDIO HABITABLE HA SIDO SUSTANCIALMENTE MODIFICADO A UNA VELOCIDAD HASTA

129

entonces insospechada. Estas altas tasas de crecimiento, acompañadas de un nivel de explotación incontrolado como el actual, inducen a pensar que los recursos ambientales serán insuficientes en un futuro próximo.

Aproximadamente el 20% de la población mundial, en su mayoría habitantes de núcleos urbanos de las áreas geográficas más desarrolladas, consumen el 80% de los recursos naturales. Y las previsiones indican que en las inmediaciones del año 2025 el porcentaje de población urbana podría llegar al 75% de la población mun-

dial, en contraposición al 50% actual y al 10% de comienzos del siglo XX. Durante este siglo, la población urbana mundial se multiplicó por 13, y el número de megalópolis, entendiendo como tales aquellas con más de ocho millones de habitantes, pasó de sólo 2 a 25.

La complejidad de funcionamiento de la ciudad precisa de un gran consumo de energía y de materiales para poder prestar servicios a sus ciudadanos y crear las infraestructuras necesarias. Pero, ¿resultará sostenible el futuro incremento del consumo energético y de materiales deri-

vado del aumento de la población concentrada en áreas urbanas?

La incorporación de criterios de sostenibilidad (Ulrich *et al.*, 1997) a su desarrollo obliga a considerar nuevas premisas: por una parte, las materias primas no deberían ser utilizadas más allá del límite que fijan sus posibilidades de restitución; por otra, además de garantizar el suministro de agua, energía y materiales, es preciso abordar temas como el transporte y la movilidad, los residuos y las telecomunicaciones, todos ellos ligados al consumo energético y a la contaminación atmosférica.

En este sentido, una adecuada política energética supone una cuestión de vital trascendencia ya que abarca todos y cada uno de los ámbitos de la vida ciudadana: el modelo energético, el tipo de energía por el que se opta, la forma tanto de producirla como de consumirla, etc.

Las autoridades locales deben ser conscientes de ello y por eso han de llevar a cabo medidas eficientes y prácticas, así como establecer un conjunto de conductas y pautas generales que aseguren el desarrollo sostenible de los municipios (J. L. Sánchez, 2001).

La sostenibilidad, término popularizado en la Conferencia de Río de 1992, se ha de entender en términos de reacción contra la degradación y contaminación ambientales y el excedente demográfico desequilibrado. Su objetivo se centra en garantizar que la satisfacción de las necesidades del presente no comprometa la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.

El concepto de sostenibilidad implica que el consumo de los recursos no supere la capacidad de la naturaleza para reemplazarlos o el desarrollo de alternativas, y aborda el mantenimiento de la biodiversidad, la salud humana y la calidad de vida en el futuro. Por ello, la sostenibilidad no es ningún dogma, sino más bien un proceso en desarrollo constante que se introduce en todas las actividades humanas y disciplinas como la planificación y el diseño urbano.

Puesto que los sistemas urbanos y las redes industriales y de servicios que generan a su alrededor son los elementos que implican un mayor impacto, configurándose como el principal objetivo de las decisiones a tomar, es fundamental desarrollar actuaciones municipales que faciliten la aplicación de criterios de sostenibilidad (F. Prats), tanto en la edificación como en el resto de actividades.

En este sentido, cabe destacar la importancia de la Carta de las Ciudades Europeas hacia la Sostenibilidad, conocida como la Carta de Aalborg. Este documento, aprobado en 1994, insta a los gobiernos locales a concretar las pautas políticas necesarias para avanzar hacia el

desarrollo sostenible, de forma que las ciudades, las regiones y las unidades territoriales de Europa se comprometan a participar en las iniciativas y a apoyar la llamada Agenda 21 local (Agenda 21, 1992), que garantiza el desarrollo de una política energética sostenible e integrada en los municipios.

Algunos de los aspectos en los cuales incide la Carta de Aalborg como imprescindibles en el camino de la sostenibilidad son: potenciar el capital natural (la atmósfera, el agua, los bosques, etc.), racionalizar los usos del suelo, modificar las pautas de movilidad urbana y controlar la contaminación de los ecosistemas. Por eso, se insiste en otorgar poderes e instrumentos de autogestión en bien del principio de subsidiariedad. En este proceso creativo, los métodos de contabilidad energética y medioambiental se revelan como fundamentales.

A lo largo de la última década, varios autores han desarrollado diversas metodologías para el cálculo y análisis de los costes energéticos y medioambientales de diferentes tipos de sistemas.

El estudio de estos costes asociados a núcleos urbanos puede hacerse adoptando un enfoque que considere la ciudad como una caja negra donde entran y salen flujos de energía y materiales (Naredo y Frías, 1994) para mantener su estructura compleja.

De los costes energéticos se pueden deducir directamente los costes ambientales, pues toda la energía utilizada al final se puede convertir en gases emitidos y contaminación térmica, calculando la contribución de la ciudad al efecto invernadero. Esta línea de análisis del coste medioambiental (Valero *et al.*, 1994) que considera la transformación de la energía consumida en CO₂, permite establecer un balance entre el CO₂ emitido y el consumido en un determinado territorio.

La contaminación asociada a la ciudad también puede dar cuenta del territorio que necesita para ser asimilada. El coste medioambiental puede así medirse en unidades de ocupación del territorio (De Groot, 1992), no sólo ocupación real de

los complejos urbanos, sino también ocupación inducida para (Cleveland, 1991) asimilar la contaminación producida.

Otra forma de valorar los costes medioambientales (Kümmel y Schüssler, 1991) es por medio de unidades energéticas, contabilizando la energía necesaria para poder separar y neutralizar los contaminantes emitidos.

En este estudio, realizado en el marco del proyecto «Costurbis» (coste de la urbe), se cuantifican los flujos energéticos entrantes a la ciudad y su impacto medioambiental, aportando como novedad la causalización del consumo masivo de energía y la comparación entre diversas tipologías de áreas urbanas, apuntando las posibles líneas de actuación necesarias para su futura sostenibilidad.

● ● ● ● ● ● ● ●
OBJETIVOS

El principal objetivo de este estudio es obtener, mediante una adecuada modelización basada en los costes energéticos y medioambientales, un diagnóstico de la influencia del consumo masivo de energía en la situación medioambiental de los núcleos urbanos, focalizado en los sectores residencial, comercial y servicios, apuntando las tendencias hacia su previsible evolución.

Por tanto, se pretende realizar un análisis del comportamiento energético de los municipios, analizando la relación existente entre los hábitos y comportamientos de la población y el consumo energético global de los municipios, y detectando las principales ineficiencias energéticas.

Asimismo, se persigue definir las bases y estrategias para la sustitución del actual modelo de municipio, caracterizado habitualmente por el alto consumo de energía y materiales, el vertido incontrolado de residuos, la elevada contaminación térmica y acústica, consecuencia del tráfico abundante de vehículos y la generación de energía a través de fuentes contaminantes, por un modelo de municipio sostenible, donde la energía se use de forma racional, fomentando el uso del transporte colectivo, la generación de

energía a través de las fuentes renovables y la clasificación, reciclaje y reutilización de todo tipo de materiales. Este cambio conlleva la sensibilización de la población en el ahorro de energía, especialmente en los hábitos y conductas de nuestra vida diaria, promoviendo un uso más racional de la energía, sin perder calidad de vida.

METODOLOGÍA

Para llegar a alcanzar los objetivos mencionados anteriormente, la metodología seguida comienza con la selección de los núcleos urbanos tipo y la definición de los sectores objeto del estudio. A continuación, se desarrolla una fase de recopilación de información y datos energéticos, para posteriormente pasar a evaluar y analizar toda la información obtenida. El paso siguiente es el análisis y clasificación de flujos energéticos en los municipios, estableciendo cuantitativa y cualitativamente los flujos que atraviesan las fronteras del municipio, y valorando los gases emitidos así como la contaminación asociada a los mismos. A partir de los flujos energéticos, se realiza el cálculo de los costes energéticos y medioambientales para cada uno de los sectores productivos de los municipios. Finalmente, se realizan propuestas concretas de actuación con objeto de lograr una mayor eficiencia energética y una disminución de la contaminación en los municipios y se desarrolla un modelo energético de los municipios a través de las curvas de ahorro-inversión (EMEP-CORINAIR, 1996).

Con el fin de obtener una visión suficientemente amplia del impacto medioambiental causado por la importación, consumo y en su caso, exportación de flujos energéticos en distintos tipos de asentamientos humanos y poder analizar sus similitudes y diferencias, se han seleccionado municipios de distintos tamaño y con actividades económicas diferentes.

Aparte del tamaño, en la selección de los municipios piloto, se han considerado otros factores como las condiciones meteorológicas y los aspectos socio-económicos, con objeto de facilitar una co-



recta extrapolación de los resultados obtenidos.

En concreto, para este estudio se han seleccionado como municipios piloto: la ciudad de Huesca, que constituye el segundo núcleo urbano de mayor tamaño en Aragón, con 45.000 habitantes; el municipio de Alcañiz, ubicado en la provincia de Teruel, con una población de 13.000 habitantes), y el pueblo de Muel, ubicado en la provincia de Zaragoza, con una población de 1.100 habitantes.

Las tres tipologías básicas sobre las que es posible extrapolar los resultados obtenidos del análisis de los municipios piloto anteriormente mencionados son:

1] Pequeños pueblos de entre 1.000 y 2.000 habitantes, localizados en áreas rurales cuyas principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería.

2] Poblaciones medianas entre 10.000 y 18.000 habitantes, cuya economía se centra principalmente en los sectores industrial, servicios y agrícola-ganadero.

3] Grandes poblaciones entre 30.000 y 50.000 habitantes, con una estructura socio-económica caracterizada por la primacía del sector servicios y un fuerte sector industrial.

El estudio se centra fundamentalmente en los sectores residencial, comercial y servicios y transporte, los cuales se caracterizan por la gran diversidad de actividades que engloban. El sector residencial incluye cualquier tipo de edificios destinados a vivienda familiar, mientras que el sector comercial y de servicios comprende toda clase de establecimientos comerciales mayoristas y minoristas así como instalaciones deportivas, hostelería, centros sanitarios y educativos, etc. Debido a las propias características de los municipios piloto analizados y a la metodología seguida en el estudio, la mayor parte de entidades del sector servicios pertenecen al Ayuntamiento (sector de servicios municipal). Respecto al sector del transporte, el análisis se ha centrado exclusivamente en el transporte por carretera, debido a su mayor consumo energético.

En la fase de recogida de información se han recopilado diversos datos relativos a consumos y equipamiento energético, referidos siempre al año 2000.

Los datos del sector servicios se han obtenido a partir de diagnósticos energéticos realizados en diversas entidades de este sector, incluyendo edificios municipales y alumbrado público. A través de los diagnósticos energéticos se han recopilado diversos datos técnicos de las instalaciones así como del mantenimiento

sin residuos, ya que en esta economía cíclica natural cada residuo de un proceso se convierte en la materia prima de otro y los ciclos naturales se cierran.

El rediseño del modelo de ciudad imitando los mecanismos de producción de la naturaleza conlleva por tanto la transformación de los insostenibles metabolismos lineales en metabolismos circulares.

En este apartado se analiza el metabolismo energético de los núcleos urbanos tipo, que tienen un carácter marcadamente lineal, estableciendo cuantitativa y cualitativamente los flujos de energía que cruzan las fronteras de los municipios seleccionados para los principales sectores de actividad (residencial, transporte y municipal) y cuantificando los costes energéticos y los impactos sobre el medioambiente como consecuencia de los gases emitidos a la atmósfera por cada municipio.

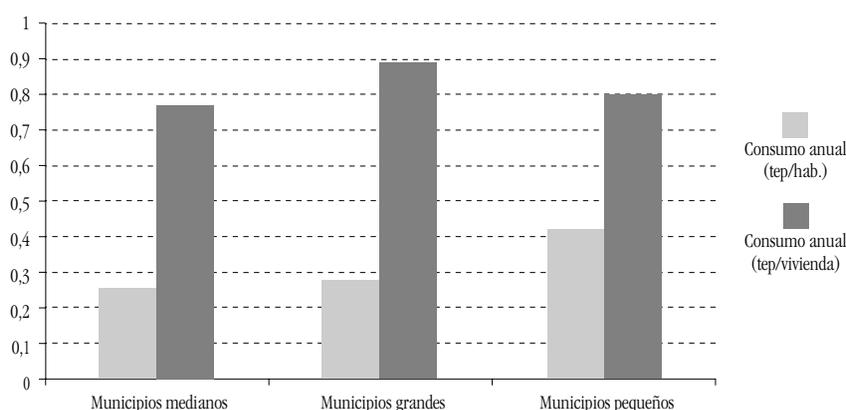
SECTOR RESIDENCIAL

El consumo de energía en los hogares depende de sus características constructivas, los sistemas energéticos y equipamientos, hábitos de consumo y del número de personas que habitan en la vivienda.

En pequeñas poblaciones, el 64% de la población habita en casas individuales, lo que generalmente implica un aumento en el tamaño de la vivienda. En núcleos urbanos medianos y grandes, este porcentaje disminuye hasta el 28% y 4%, respectivamente. La densidad de ocupación media para viviendas en medianos y grandes núcleos urbanos es de 3,2-3,3 personas por vivienda, mientras que en pequeños pueblos de áreas rurales, la densidad desciende hasta 2,8 personas por vivienda, lo que contrasta con el mayor tamaño de la vivienda.

Esto podría estar provocado por el cambio socio-laboral que en los últimos años se ha producido en las áreas rurales al desvincular las labores agropecuarias de la vivienda, lo que ha llevado consigo un aumento de la superficie habitable de las viviendas. Asimismo, en pequeños municipios, la edad media de las viviendas es mayor, lo que implica que los acristalamientos sean más inefi-

**GRÁFICO 1
CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SECTOR RESIDENCIAL**



FUENTE: Elaboración propia.

**CUADRO 1
COMPOSICIÓN DEL FLUJO ENERGÉTICO ENTRANTE PARA EL SECTOR RESIDENCIAL**

Tamaño	Flujo energético entrante (tep/hab.)	Electricidad (%)	Gas natural (%)	Gasóleo C (%)	Gas propano (%)	Gas butano (%)
Municipios grandes	0,33	33	35	28	3	1
Municipios medianos	0,29	39	33	25	2	1
Municipios pequeños	0,47	30	—	69	—	1

FUENTE: Elaboración propia.

cientos. Estas circunstancias se traducen en un mayor consumo en calefacción, que representa el grueso del consumo en los hogares.

El predominio de las viviendas unifamiliares en pequeños municipios conlleva que prácticamente el 100% de las instalaciones son individuales para cada vivienda, que son más ineficientes que las instalaciones centralizadas. Conforme aumenta el tamaño del municipio, el porcentaje de viviendas unifamiliares es menor, incrementando proporcionalmente las instalaciones centralizadas. En núcleos urbanos medianos, este tipo de instalaciones representan el 9%-10% y en grandes núcleos suponen el 50% del total de instalaciones.

La posibilidad de emplear gas natural como combustible (que conlleva unas emisiones más limpias) aumenta conforme el municipio es más grande, debido a la estructura de las actuales re-

des de canalización. Tan sólo el 50% de los hogares que emplean energía eléctrica para calentar poseen acumuladores eléctricos y tarifa nocturna, mientras que el resto de las viviendas todavía poseen estufas convencionales ineficientes. Además, en contra de lo esperado, en las áreas rurales analizadas, la leña, que constituye una fuente energética renovable, se utiliza escasamente en sistemas de calefacción o agua caliente sanitaria (menos del 3% de las viviendas utilizan este recurso).

En cuanto a la iluminación en viviendas, el uso de bombillas de bajo consumo y fluorescentes, que resultan más eficientes que las bombillas incandescentes convencionales para iluminar zonas que tengan un régimen de encendido prolongado y continuo, apenas alcanza el 45%-55%.

El consumo anual *per cápita* en los municipios analizados (gráfico 1) es ligeramen-

te superior que la media anual española (Estevan y Sanz, 1996), que es de 0,21 tep por habitante. Debido a las diferencias de la densidad de ocupación en las áreas analizadas, es interesante considerar el consumo anual de energía en cada vivienda, que es también superior a la media anual nacional (0,71 tep por vivienda).

En el sector residencial, el consumo térmico es predominante, representando el 66% del consumo total de energía en este sector. El consumo anual eléctrico fluctúa entre 3.065 kWh por vivienda en pequeños núcleos urbanos y 3.835 kWh por vivienda en grandes núcleos. Por otra parte, el consumo térmico anual *per cápita* asciende a 0,18 tep en núcleos urbanos medianos, 0,22 en grandes y 0,33 en pequeños. Estos resultados son consecuencia directa de la menor ocupación de las viviendas en pequeños municipios.

Uno de los aspectos importantes a la hora de examinar cualquier flujo de energía entrante (consumo de energía) es el análisis de su distribución a lo largo del año. Así, por ejemplo, el gas natural y el gasóleo C presentan una fuerte demanda durante los meses de invierno, para el funcionamiento de las calefacciones de las viviendas, disminuyendo su consumo significativamente durante los meses de verano.

El coste energético anual *per cápita* del sector residencial alcanza los 240-420 €. Aproximadamente el 59% de este coste está asociado al consumo de energía eléctrica.

En municipios medianos y grandes, el consumo energético del sector residencial implica un 44%-48% de las emisiones de contaminantes. Este porcentaje alcanza el 70% en pequeños municipios, debido al mayor peso que este sector supone en el conjunto del municipio, como consecuencia de la práctica inexistencia del sector servicios.

En el cuadro 2 se muestran las emisiones de contaminantes *per cápita* asociadas al sector residencial.

SECTOR TRANSPORTE

La mejora de la calidad de vida, el crecimiento de los núcleos de población en

CUADRO 2
IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES ANUALES EN EL SECTOR RESIDENCIAL

Tamaño	SO ₂ (kg/hab.)	NO _x (kg/hab.)	CO (kg/hab.)	HC (kg/hab.)
Municipios grandes	2.947,3	1.396,0	95,8	142,1
Municipios medianos	3.026,6	1.433,6	98,1	145,9
Municipios pequeños	3.718,3	1.759,6	118,8	179,1

FUENTE: Elaboración propia.

CUADRO 3
MOVILIDAD DE LOS CIUDADANOS CON VEHÍCULO PROPIO
Y DENSIDAD DE VEHÍCULOS

Tamaño	Movilidad anual (km/hab.)	Densidad de vehículos (vehículos/1.000 hab.)
Municipios grandes	9.250	564
Municipios medianos	7.750	542
Municipios pequeños	8.500	534

FUENTE: Elaboración propia.

CUADRO 4
COMPOSICIÓN DEL FLUJO ENERGÉTICO ENTRANTE PARA EL TRANSPORTE

Tamaño	Flujo energético entrante (tep/hab.)	Gasolina (%)	Gasóleo A (%)
Municipios grandes	0,65	40	60
Municipios medianos	0,52	56	44
Municipios pequeños	0,54	50	50

FUENTE: Elaboración propia.

los alrededores de las ciudades y las características de nuestro proceso productivo son la causa del elevado incremento de la actividad de los transportes, tanto de mercancías como de pasajeros y, como consecuencia, del consumo energético asociado.

Esta situación se ha producido como consecuencia del importante aumento del parque automovilístico y de las infraestructuras, fundamentalmente carreteras. El parque automovilístico supera hoy en España los 400 vehículos turismos por cada mil habitantes, relación similar a la de los países de nuestro entorno y superior a la de países de mayor desarrollo económico como pueden ser Japón o Dinamarca.

El aumento del tráfico alrededor de las grandes ciudades y la mejora de las rentas, que se ha traducido, asimismo, en un

aumento del parque de vehículos de mayor cilindrada, han provocado un incremento notable de los consumos. Si bien es cierto que durante los últimos años se han producido mejoras en la eficiencia energética de los turismos, este hecho se ha visto superado ampliamente por el aumento de la proporción de vehículos de gran tamaño en el parque automovilístico nacional y por el aumento de la movilidad (dando así lugar al conocido «efecto rebote»).

Esta facilidad de transporte y de desplazamiento individual ha ocasionado, por su parte, consecuencias de carácter energético y medioambiental negativas de mayor repercusión, por la tendencia de la población a concentrarse en grandes asentamientos urbanos, unido a la mayor disponibilidad de coche propio, con el consiguiente aumento de vehículos en circulación que conlleva, sin exis-

tir un desarrollo paralelo de alternativas al mismo.

Todas las previsiones apuntan a que continúe el aumento relativo del consumo en el sector del transporte, lo que pone en peligro el cumplimiento de los compromisos de Kyoto. Se impone, pues, la toma de medidas contundentes si queremos alcanzar resultados que nos aproximen al objetivo comprometido.

Una consecuencia del desarrollo socioeconómico es la mayor disponibilidad de vehículo propio. Esto supone un aumento en el número medio de vehículos *per cápita* (cuadro 3), siendo la densidad media de vehículos en los municipios superior al 21% de la tasa media de la UE, que es de 451 vehículos por cada 1.000 habitantes. En los municipios analizados, la movilidad ciudadana (C. López, 2001; L. M. López, 1998) con vehículos propios supera la media anual, estimada en 6.000 kilómetros por habitante y año.

Desde el punto de vista de los grandes municipios, la mayor parte del consumo energético tiene lugar dentro del ámbito urbano, como consecuencia de los desplazamientos diarios a los lugares de trabajo, lo cual conlleva un mayor nivel de consumo.

Por el contrario, en pequeños municipios, los desplazamientos son principalmente interurbanos hacia las zonas de trabajo de los alrededores y hacia las zonas de ocio de los grandes centros urbanos. Asimismo, en áreas rurales, el consumo energético ha aumentado debido al uso intensivo de automóviles, tractores y otras máquinas agrícolas.

El transporte público es seis veces más eficiente que el privado, pero en las áreas analizadas presenta algunas deficiencias, lo que repercute en un uso minoritario.

En un hogar típico, el consumo de combustible para el transporte supone la mayor fuente de consumo energético. Así, en municipios medianos, este consumo representa el 65% del consumo total energético por vivienda, mientras en grandes y pequeños municipios, este porcentaje alcanza el 67% y 55%, respectivamente.

CUADRO 5
IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES ANUALES DEBIDOS AL TRANSPORTE SEGÚN EL TIPO DE COMBUSTIBLE

Tamaño	Combustible	SO ₂ (kg/hab.)	NO _x (kg/hab.)	Partículas (kg/hab.)	CO (kg/hab.)	HC (kg/hab.)
Municipios grandes	Gasolina	0,065	4,874	0,662	116,973	9,748
	Gasóleo	9,546	9,069	6,348	3,150	18,138
Municipios medianos	Gasolina	0,066	5,352	0,357	128,450	10,704
	Gasóleo	5,581	5,302	3,665	1,841	10,604
Municipios pequeños	Gasolina	0,000	4,910	0,431	119,380	9,991
	Gasóleo	6,632	6,288	4,393	2,153	12,489

FUENTE: Elaboración propia.

CUADRO 6
IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES ANUALES CAUSADOS POR EL ALUMBRADO PÚBLICO

Tamaño	Consumo (kWh/hab.)	SO ₂ (kg/hab.)	NO _x (kg/hab.)	CO (kg/hab.)	HC (kg/hab.)
Municipios grandes	132	0,300	0,142	0,010	0,014
Municipios medianos	101	0,230	0,109	0,007	0,011
Municipios pequeños	139	0,317	0,150	0,010	0,016

FUENTE: Elaboración propia.

El coste anual del combustible *per cápita* para el transporte es aproximadamente de 500 € para municipios pequeños y medianos. En grandes municipios, el coste es ligeramente superior, alcanzando los 600 €.

SECTOR MUNICIPAL

A pesar de que el sector municipal representa generalmente una pequeña proporción de la energía consumida en el conjunto del municipio, una política municipal que contemple criterios de optimización energética puede tener un efecto multiplicador, suscitando en el resto de usuarios iniciativas para gestionar adecuadamente el consumo, y al mismo tiempo constituir una de las bases para una protección eficaz del medio ambiente y una garantía de mejora de la calidad de vida de los ciudadanos.

El alumbrado público en municipios representa el 50% del coste eléctrico del sector municipal. Además, por término medio, el 40% del flujo lumínico se desaprovecha emitiendo luz a la atmósfera (contaminación lumínica). El consumo anual de electricidad *per cápita*

para el alumbrado público se encuentra en el rango de 100-140 kWh, y los costes económicos anuales asociados son 7-12 €/habitante, dependiendo en ambos casos de la estructura urbanística del municipio.

La implantación de sistemas de regulación del nivel de luz y la mejora del mantenimiento de la instalación conllevarían un ahorro energético del 20%-30%.

Las emisiones de contaminantes hacia la atmósfera asociadas a la generación eléctrica necesaria para asegurar la demanda lumínica están representadas en el cuadro 6.

CONJUNTO DEL MUNICIPIO

El consumo energético anual *per cápita* de los municipios es alrededor de 1 tep por habitante, correspondiendo un 20% a consumos eléctricos. En pequeñas poblaciones, la tasa es de 1,13 tep/habitante, debido al mayor consumo térmico derivado de la menor ocupación de las viviendas; en poblaciones medianas este valor es de 1 tep/habitante, y en grandes, alrededor de 1,23 tep/habitante, debido al

CUADRO 7
COMPOSICIÓN DEL FLUJO ENERGÉTICO ENTRANTE EN EL MUNICIPIO

Tamaño	Flujo energético entrante (tep/hab.)	Electricidad (%)	Gas natural (%)	Gasóleo C (%)	Otros: propano, butano, etc. (%)	Gasóleo A (%)	Gasolina (%)
Municipios grandes	1,23	19,4	14,8	11,7	0,9	31,7	21,5
Municipios medianos	1,00	22,7	13,2	11,0	0,9	23,0	29,3
Municipios pequeños	1,13	17,2	—	32,3	0,4	25,0	25,1

FUENTE: Elaboración propia.

mayor consumo asociado al transporte urbano (cuadro 7).

Respecto a la participación de los distintos sectores en el consumo energético total del municipio, hay que señalar que el transporte es el consumidor mayoritario, ya que supone por término medio el 52% de la energía total. Seguidamente se sitúan el sector residencial, con un porcentaje medio alrededor del 32%, el sector comercial y servicios, con un 14%, y finalmente el sector municipal, con un 2% sobre el consumo energético total.

El coste energético anual *per cápita* (gráfico 2) presenta ciertas variaciones en los municipios, aunque siempre en un rango de 930-1.110 €.

El coste de la energía eléctrica anual *per cápita* es similar en los municipios analizados, alrededor de 300 €, mientras que el coste de la energía térmica anual *per cápita* se sitúa entre 630 y 780 €, lo que supone aproximadamente el 70% del coste total energético del municipio.

En el cuadro 8 se muestran las emisiones de contaminantes *per cápita* asociadas al consumo total de energía en los municipios.

En primer lugar, el dióxido de azufre proviene de la combustión de sustancias que contengan azufre, siendo sus principales fuentes de emisión las calefacciones y quemadores industriales que emplean carbón y gasóleo, así como los vehículos diesel. Algunos de los efectos negativos asociados a su presencia en el aire son el aumento de la corrosión en la mayoría de los metales, la irritación de la vista, el aumento de las enfermedades respiratorias, la decoloración de las hojas en los vegetales y su contribución a la formación de lluvia ácida.

Por otro parte, los óxidos de nitrógeno (óxido nítrico y dióxido de nitrógeno) provienen de procesos de combustión a altas temperaturas. Las principales fuentes de emisión de este contaminante son los vehículos a motor, las incineradoras y las industrias del acero y petroquímicas. Algunos de los efectos que producen son irritación en ojos y vías respiratorias, daños y retraso en el crecimiento de las plantas, efectos cancerígenos y contribución a la formación de lluvia ácida.

En tercer lugar, el monóxido de carbono se produce en los procesos de combustión incompleta, y proviene principalmente de los vehículos a motor y las industrias. Es un gas muy tóxico para las personas, pudiendo llegar a causar muerte por asfixia. Además, produce efectos directos sobre los sistemas circulatorio y respiratorio de las personas.

Por último, los hidrocarburos son compuestos que contienen carbono e hidrógeno, tales como el metano, acetileno, benceno, tolueno, etc. Su emisión proviene principalmente de los vehículos a motor. Los hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno) producen irritación en las membranas mucosas, pudiendo llegar a causar lesiones en las mismas, mientras que los hidrocarburos no saturados reaccionan fácilmente con la radiación solar, originando el conocido *smog* fotoquímico.

MEDIDAS Y PROPUESTAS DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MUNICIPIOS

En esta sección se exponen las principales mejoras y recomendaciones para lo-

grar un desarrollo más sostenible de los municipios. Estas medidas deben pasar necesariamente por la mejora tecnológica de los equipos y sistemas energéticos, la utilización de fuentes energéticas renovables y el cambio de hábitos y comportamientos de la población a través del fomento del uso racional de la energía.

En este sentido hay que destacar que la suma de los pequeños ahorros energéticos y económicos que cada uno pueda generar con sus hábitos cotidianos, se traduce siempre en grandes ahorros en el conjunto del municipio.

Las principales propuestas generales de actuación (J. Royo *et al.*, 2000) para la mejora de los costes energéticos y medioambientales aplicables a cualquier tipo de municipio se recogen en el cuadro 9.

MODELIZACIÓN ENERGÉTICA: ANÁLISIS DE INEFICIENCIAS Y MEJORAS

A partir de la identificación de las medidas de ahorro necesarias para paliar las ineficiencias detectadas es preciso hacer una valoración económica de la implantación de dichas medidas en el municipio, estimando para cada medida la inversión total que supondría su puesta en práctica, la vida útil de dicha inversión y el ahorro energético y económico asociado a cada medida a lo largo de toda su vida útil. A partir de estos cálculos se puede obtener un modelo energético de cada municipio por medio de la caracterización de las curvas ahorro-inversión para cada núcleo urbano. Las principales medidas de ahorro cuantificadas en este modelo son:

a) Automatización de equipos térmicos y gestión individualizada de los consumos.

b) Fomento de la energía solar térmica para apoyo al agua caliente sanitaria.

c) Promoción del uso de tecnologías más eficientes para calefacción.

d) Mejora del aislamiento de equipos térmicos y edificios.

e) Incremento de la eficiencia en equipos de frío.

f) Aumento de la eficiencia en los sistemas de iluminación.

g) Fomento de los medios de transporte colectivo y no contaminantes en el ámbito urbano.

h) Optimización de las facturas eléctricas municipales.

A la hora de efectuar la cuantificación de estas medidas de ahorro se han considerado dos escenarios posibles:

- En el escenario A, se ha valorado la posibilidad de llevar a cabo las medidas propuestas con el actual nivel de concienciación social de la población.

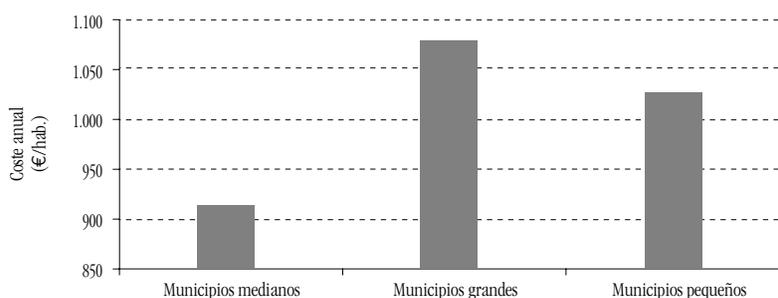
- En el escenario B, se ha valorado cómo aumentaría el grado de aplicación de dichas medidas en caso de que se pusiera en marcha una campaña integral de sensibilización y divulgación que fomentase el uso racional y eficiente de la energía entre la población.

CURVAS AHORRO-INVERSIÓN

Las curvas ahorro-inversión permiten cuantificar la disminución de los costes energéticos del municipio para un determinado nivel de inversión en medidas de mejora de la eficiencia energética. Además, el análisis de los parámetros que caracterizan este tipo de curvas permite obtener interesantes resultados, como el ahorro máximo alcanzable por el municipio o el grado de elasticidad del ahorro frente a la inversión.

Este tipo de curvas se obtiene ordenando las medidas de ahorro propuestas

**GRÁFICO 2
COSTE ENERGÉTICO PER CÁPITA PARA LOS MUNICIPIOS**



FUENTE: Elaboración propia.

**CUADRO 8
IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES ANUALES PARA LOS MUNICIPIOS**

Tamaño	SO ₂ (t/hab.)	NO _x (t/hab.)	CO (t/hab.)	HC (t/hab.)
Municipios grandes	6,63	3,15	0,33	0,35
Municipios medianos	6,26	2,97	0,33	0,32
Municipios pequeños	5,16	2,45	0,29	0,27

FUENTE: Elaboración propia.

según su rentabilidad económica, de mayor a menor. En este estudio se ha considerado la *ratio* ahorro total-inversión total como referente del nivel de rentabilidad de cada medida, ya que permite valorar cualquier tipo de inversión (anual o plurianual) frente al ahorro total obtenido, a lo largo de toda la vida útil de la inversión, independientemente del tiempo. Una vez ordenadas las medidas, se calcula la suma acumulada de las inversiones y ahorros obtenidos con la aplicación de las medidas, desde la más a la menos rentable, y se representan gráficamente dichos puntos, obteniendo la curva ahorro-inversión. Finalmente se caracteriza dicha curva mediante un ajuste de tipo exponencial:

$$A(I) = A_M * (1 - e^{-\epsilon I})$$

donde:

A(I): Ahorro total obtenido a lo largo de la vida útil de la inversión (€).

I: Inversión total realizada (€).

A_M: Ahorro máximo alcanzable (€).

ϵ : Coeficiente de saturación de la curva ahorro-inversión (adimensional).

En este modelo, al principio se representan las medidas más rentables, por lo que pequeñas inversiones generan grandes ahorros. Conforme el nivel de inversión aumenta, los ahorros obtenidos siguen creciendo, pero de forma más moderada. A partir de un cierto nivel de inversión, la curva se satura, es decir, por más que se aumente la inversión, el ahorro ya no crece más. Ese límite asintótico de la curva se corresponde con el máximo ahorro alcanzable (A_M) por el municipio.

A continuación se presentan las curvas ahorro-inversión obtenidas. Los datos expresados en euros *per cápita* son extrapolables a los tres tipos de municipio considerados.

De los gráficos 3-4 se deduce que la realización de una campaña de divulgación en el uso racional de la energía se traduciría en un aumento del nivel máximo de ahorro alcanzable por el municipio y, a la vez, en una disminución del coeficiente de saturación, ya que el nivel de inversión aumenta, al incluir el coste de la campaña.

CUADRO 9
AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EQUIPOS Y SISTEMAS

Equipos y sistemas	Medidas de ahorro y eficiencia energética	Efecto esperado
Sistemas de calefacción	Mejora del mantenimiento de las calderas	Reducción del 4% sobre el consumo de la caldera
	Automatización y gestión individualizada de las instalaciones de calefacción central	Ahorro energético del 20%-30% sobre el consumo de los equipos
	Apoyo a la utilización de leña como combustible para calefacción	Este tipo de combustible no aumenta la cantidad de CO ₂ en el ambiente
	Fomento de la calefacción por medio de acumuladores de calor con tarifa nocturna, especialmente en viviendas con calefacción eléctrica	Mejora del funcionamiento general de la red eléctrica
Sistemas de agua caliente sanitaria	Utilización de termostatos para regulación de la temperatura	Adaptar el consumo energético al nivel de ocupación
	Regulación de los termostatos de calderas y depósitos de agua caliente sanitaria	Ahorro de combustible en las calderas y aumento de la vida útil de los depósitos
Sistemas de climatización	Promulgación de ordenanzas municipales para la incorporación de sistemas de captación de energía solar en los edificios	Ahorro energético del 60%-70% en los equipos convencionales de agua caliente
	Regulación adecuada del termostato de los equipos de aire acondicionado	Ahorro energético del 8% por cada grado de menos que se exija al equipo
	Limpieza regular de los filtros del climatizador	Mejora de las condiciones de trabajo del equipo
	Ubicación del condensador del equipo de aire acondicionado alejado de fuentes de calor	Ahorro energético del 3% por cada grado que se consiga disminuir la temperatura en el entorno del condensador
Sistemas de aislamiento	Promoción de la climatización por medio de bomba de calor	Ahorro energético del 60% frente a un sistema convencional de calefacción
	Promoción de la construcción de viviendas según consideraciones bioclimáticas	Disminución del consumo energético de las viviendas
	Fomento de la instalación de doble ventanas o ventanas de doble cristal, especialmente en nuevas viviendas	Ahorro del 25%-30% de la energía para climatización de la vivienda
Sistemas de iluminación interior	Aislamiento de las tuberías de distribución de calefacción y/o agua caliente y de los depósitos correspondientes	Ahorro del 2% sobre el consumo energético del equipo correspondiente
	Concienciación de la población mediante campañas de difusión sobre uso eficiente de la iluminación	Mejor conocimiento de las lámparas más eficientes y ahorro en iluminación
	Instalación de detectores de presencia en estancias de uso intermitente	Disminución del consumo eléctrico para iluminación en un 20%
	Utilización de lámparas de bajo consumo en vez de incandescentes en estancias con regímenes de encendido continuo	Mayor duración de las lámparas y consumo de la lámpara un 80% inferior
	Instalación de temporizadores independientes en los rellanos de edificios	Ahorro energético entre el 75% y 90% sobre el consumo de las lámparas
	Sustitución de las reactancias convencionales de lámparas fluorescentes y de descarga por balastos electrónicos	Ahorro energético del 20%-30% para la misma emisión de luz, alargando la vida útil de las lámparas un 50% más
Instalación de células fotoeléctricas para el encendido automático de sistemas de iluminación en función del nivel de iluminación natural	Ahorro en iluminación del 10%-20%	

(continúa)

MODELIZACIÓN DE COSTES ENERGÉTICOS Y MEDIOAMBIENTALES...

**CUADRO 9 (continuación)
AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EQUIPOS Y SISTEMAS**

Equipos y sistemas	Medidas de ahorro y eficiencia energética	Efecto esperado
Sistemas de iluminación exterior-alumbrado público	Realización de un inventario o base de datos de la instalación	Disminución de los costes de servicio de la instalación
	Regulación del flujo luminoso según la demanda lumínica	Ahorro energético del 25%
	Renovación de los equipos de encendido	Aumento de la vida útil de las lámparas
	Instalación de baterías de condensadores para compensación de la energía reactiva en las instalaciones con peor factor de potencia	Disminución de los costes energéticos de la instalación
	Mejora del mantenimiento de la instalación	Mejora del rendimiento lumínico
Electrodomésticos	Gestión eficiente de los residuos asociados a la instalación, especialmente las lámparas	Disminución del impacto medioambiental de la instalación
	Concienciación a la población sobre el significado del etiquetado energético de los electrodomésticos	Menor consumo de agua y electricidad
Motores eléctricos	Difusión de hábitos de uso eficiente de los electrodomésticos	
	Instalación de variadores de velocidad en los motores eléctricos de mayor potencia que trabajen con cargas variables	Mejora del rendimiento de motores
Flujo de materiales	Mejora de la recogida de los contenedores de materiales reciclables	Incentivar la cultura del reciclaje y reutilización entre la población
	Instalación de un mayor número de contenedores de papel-cartón, vidrio y pilas	
	Instalación de nuevos contenedores para depositar plásticos, metales y residuos orgánicos	Disminución del impacto medioambiental asociado al municipio
Agua	Disminución de la producción general de residuos	
	Implantación de perlizadores en las griferías de las viviendas	Disminución media del consumo de agua en la vivienda en un 40% y disminución del consumo energético
	Incorporación de economizadores o reductores de caudal en las griferías de las viviendas	
Factura eléctrica	Instalación de interruptores mecánicos de caudal en las griferías de las viviendas	
	Optimización de facturas eléctricas mediante análisis de las redes eléctricas	Ahorro económico en la factura de electricidad
Medios de transporte	Instalación de baterías de condensadores para compensación de la energía reactiva en instalaciones con peor factor de potencia	
	Fomento de medios de transporte colectivo	El consumo de energía por persona y kilómetro recorrido se reduce en un 70%
	Fomento de la bicicleta como medio de transporte urbano habitual	Cambio de los hábitos de desplazamiento para la disminución de los costes energéticos e impactos medioambientales asociados
	Reducción del uso del vehículo privado para desplazamientos urbanos	
	Peatonalización de las calles céntricas del municipio	
	Instalación y empleo de ralentizadores (en vez de frenos) en vehículos pesados	Mejora de los hábitos de conducción, disminuyendo el consumo energético y la contaminación asociada
	Transporte eficiente del equipaje	

(continúa)

CUADRO 9 (continuación)
AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EQUIPOS Y SISTEMAS

Equipos y sistemas	Medidas de ahorro y eficiencia energética	Efecto esperado
Medios de transporte	Concienciación de la población para el desarrollo de un estilo de conducción eficiente	
	Fomento de la renovación del parque de vehículos	Reducción del consumo de combustible y de las emisiones de NO _x y CO ₂
	Impulso a la realización de un mantenimiento adecuado de los vehículos	Ahorro de combustible de hasta el 30%
	Fomento del desarrollo de motores eléctricos e híbridos para vehículos y de pilas de combustible para vehículos	Disminución de la contaminación
	Uso del gas licuado del petróleo en vehículos de flota	Combustión más silenciosa y limpia, alto par motor y mayor duración del aceite lubricante
	Uso de gas natural comprimido en vehículos de flota	Disminución de las emisiones de CO ₂ entre un 60%-70% respecto a los hidrocarburos convencionales
	Uso de biocarburantes (biodiesel y bioetanol) en motores de combustión interna	Disminución de las emisiones de CO ₂
	Aplicación de la tecnología GPS al transporte de mercancías	Gestión eficiente de las flotas de transporte de mercancías
	Fomento de la compra de productos locales	Ahorro de combustible como consecuencia de la reducción de la distancia del transporte

FUENTE: Elaboración propia.

CUADRO 10
MODELADO ENERGÉTICO PARA MUNICIPIOS

Tamaño	Escenario A		Escenario B		
	Ahorro máximo: A _M (€/habitante)	Coficiente saturación: ε	Ahorro máximo AM (€/habitante)	Coficiente saturación: ε	Coste campaña divulgativa (€/habitante)
Municipios grandes	511	0,0292	787	0,01600	3,69
Municipios medianos	443	0,0220	782	0,00950	7,33
Municipios pequeños	263	0,0590	1.273	0,00563	23,04

FUENTE: Elaboración propia.

140

Como se puede observar (cuadro 10), en municipios grandes, el aumento del ahorro máximo alcanzable a través de la campaña divulgativa es del 54%, mientras que en municipios medianos este aumento es del 76% y en municipios pequeños asciende hasta el 383%. Por tanto, conforme menor es el tamaño del municipio, más fácil es concienciar a la población a través de campañas de sensibilización.

Asimismo, el coste *per cápita* de la campaña divulgativa es más elevado a medida que el municipio es más pequeño, debido a los costes mínimos fijos necesarios para la puesta en marcha de la campaña.

El coeficiente de saturación nos indica para cada curva la rapidez con que se logra un nivel próximo al de saturación o ahorro total alcanzable A_M. En el escenario A el coeficiente es más pequeño cuanto más grande sea el municipio, debido a la rentabilidad económica de las medidas implementadas en cada uno de ellos. Sin embargo, esta ordenación cambia cuando se realiza una inversión en divulgación, disminuyendo los tres coeficientes, debido a la mayor inversión por habitante. El descenso es más acusado en el municipio pequeño, debido al mayor gasto *per cápita* en divulgación, que no obstante provoca el mayor aumento del ahorro máximo alcanzable.



CONCLUSIONES

A la vista de los resultados expuestos se deduce que la situación actual de los municipios está lejos de los principios marcados por un metabolismo circular sostenible.

A pesar de ello, la situación actual es reversible mediante la aplicación de estrategias basadas en la reorientación del desarrollo hacia nuevos criterios de sostenibilidad. Para ello es necesario implementar los principios de la Agenda 21 Local:

- a) Se deben poner en marcha políticas energéticas locales sostenibles por parte

de las autoridades locales y de esta forma conseguir un efecto ejemplar y multiplicador entre la población.

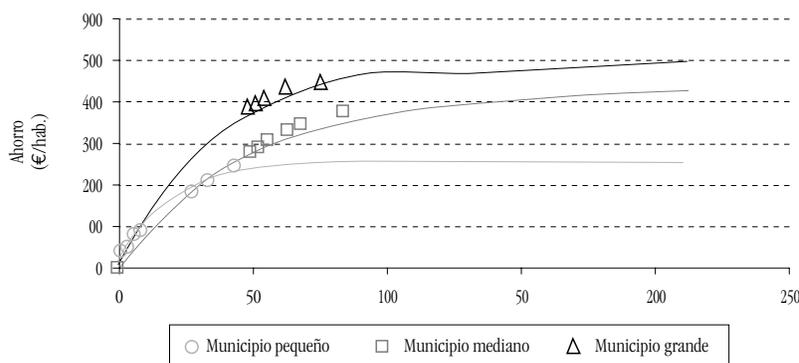
b) Los municipios deben apostar por la diversificación de las fuentes energéticas y el aprovechamiento de los recursos endógenos, con objeto de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar, por tanto, la calidad del aire. Actualmente existe una fuerte inercia hacia el uso de las fuentes energéticas convencionales, asentada en la falta de conocimiento de las ventajas que supone la utilización de fuentes de energía renovables. Los municipios no están sabiendo aprovechar su riqueza en recursos endógenos: radiación solar, viento y biomasa residual.

En este contexto, se hace necesario la promulgación de ordenanzas municipales para la incorporación de sistemas de energía solar térmica en edificios. Este tipo de instalaciones suponen una reducción del 60%-70% en el consumo de los equipos convencionales. Con ello, el municipio podría conseguir un ahorro de energía del 10% sobre su consumo total (excluido el sector transporte). Además, se debe fomentar el uso de la biomasa (leña) como combustible para calefacción, ya que contribuye a aprovechar un recurso fácilmente disponible en áreas rurales.

c) Respecto al sector transporte, el uso abusivo del vehículo privado, con muy baja ocupación, en detrimento de otros medios de transporte más eficientes hace que el consumo de este sector sea mayoritario. Si bien es cierto que durante los últimos años se han producido mejoras en la eficiencia energética de los vehículos, este hecho se ha visto superado ampliamente por el aumento de la proporción de vehículos de mayor potencia en el parque automovilístico y por el aumento de la movilidad de los ciudadanos. En los municipios analizados el transporte público presenta habitualmente importantes deficiencias —frecuencia irregular, antigüedad de la flota, falta de información sobre horarios y recorridos, etc.—, sobre las que es necesario actuar.

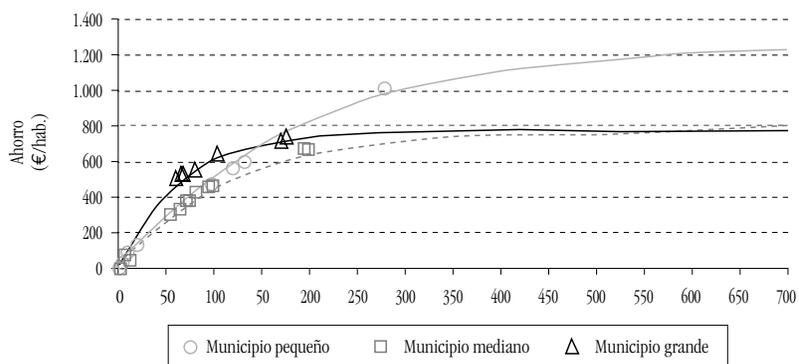
Por ello resulta esencial promover el transporte público en nuestros munici-

GRÁFICO 3
CURVAS AHORRO-INVERSIÓN PARA MUNICIPIOS EN EL ESCENARIO A



FUENTE: Elaboración propia.

GRÁFICO 4
CURVAS AHORRO-INVERSIÓN PARA MUNICIPIOS EN EL ESCENARIO B



FUENTE: Elaboración propia.

pios, ya que actualmente las *ratios* de utilización están muy por debajo que en la mayoría de los países de la Unión Europea. Hay que subrayar que los medios de transporte colectivo, fundamentales para garantizar la movilidad en cualquier municipio de tamaño medio o grande, son seis veces más eficientes que los medios privados.

Por otra parte, el aumento de la movilidad en áreas rurales se traduce en un mayor número de vehículos *per cápita*, lo que, unido al uso de tractores, está contribuyendo a aumentar el consumo energético del sector.

d) El desarrollo de campañas de sensibilización de la población, conjuntamente con la puesta en marcha de programas de educación ambiental en los centros edu-

cativos, conllevaría una importante reducción del consumo energético en los municipios.

Se ha constatado que actualmente existe una falta de concienciación ciudadana hacia los impactos medioambientales asociados a los hábitos personales de uso de la energía. Frecuentemente, la población asocia la idea del uso racional a un retroceso en los niveles de calidad de vida, cuando supone justamente lo contrario.

A modo de ejemplo, solamente mejorando el mantenimiento de las calderas en las viviendas y fomentando la calefacción de distrito, distribuyendo siempre los gastos en función del consumo de energía térmica de cada vivienda, se podría conseguir una reducción del 15% en el consumo total del municipio.

Finalmente, se deben emprender medidas tendentes a impulsar la reducción y el reciclaje de todo tipo de materiales, fomentando la cultura de la reutilización y la clasificación total de los residuos por parte de la población para conseguir un modelo de metabolismo circular en los municipios.

Como conclusión se hace indispensable reforzar el papel y las competencias de los municipios en el campo de la eficiencia energética, la promoción de las energías renovables y del medio ambiente a través de la aplicación de las Agendas 21 Locales: «Crear un hábitat donde se ahorre energía significa reconocer que todos los ciudadanos tienen derecho a ella.»

.....

(*) Este estudio ha sido desarrollado a partir de los resultados obtenidos en el marco de un proyecto bianual denominado «Costurbis», financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología. Agradecemos la participación de los ayuntamientos aragoneses de Huesca, Alcañiz y Muel, así como de los responsables y alumnos de los centros

educativos de dichos municipios, por su colaboración en la recopilación de información para este estudio.

.....

BIBLIOGRAFÍA

AGENDA 21 (1992): *The Rio Declaration on Environment and Development, and the Statement of principles for the Sustainable Management of Forests* adopted by more than 178 Governments at the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) held in Río de Janeiro, Brasil, 3 al 14 junio.

CLEVELAND, C. J. (1991): *Natural Resource Scarcity and Economic Growth Revisited: Economic and Biophysical Perspectives*, R. Constanza (ed.): *Ecological Economics-The Science and Management of Sustainability*, Columbia Univ. Press, Nueva York.

DE GROOT, W. T. (1992): *Environmental Science Theory. Concepts and methods in a one-world problem-oriented paradigm*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

EMEP-CORINAIR (1996): *Atmospheric Emission Inventory Guidebook*, Gordon Mc Innes, European Environment Agency, First Edition, Copenhagen.

ESTEVAN, A. y SANZ, A. (1996): *Hacia la reconversión ecológica del transporte en España*, Los libros de la catarata.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL AHORRO DE ENERGÍA, MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (1999): *El consumo de energía de las familias españolas*, Madrid.

KÜMMEL, R. y SCHÜSSLER, U. (1991): «Heat equivalents of noxious substances: a pollution indicator for environmental accounting», *Ecological Economics*, 3, pp. 139-156.

LÓPEZ, C. (2001): *Transporte y movilidad: el factor energético y ambiental*, Genera Congress, Madrid, marzo.

LÓPEZ, L. M. (1998): *Inventario y Plan Energético de la Comunidad Autónoma de La Rioja*, Universidad de La Rioja, Logroño.

NAREDO, J. M. y FRÍAS, J. (1988): *Flujos de energía, agua, materiales e información en la Comunidad de Madrid*, Consejería de Economía de la Comunidad de Madrid, Madrid.

PRATS, F.(): *Sostenibilidad y políticas urbanas y locales: el caso de las ciudades españolas*, Biblioteca Ciudades para un futuro más sostenible.

ROYO, J. et al. (2000): *Análisis del potencial de ahorro y eficiencia energética en Aragón*, Gobierno de Aragón, Dpto. de Industria, Comercio y Desarrollo, Colección Datos Energéticos de Aragón, Zaragoza.

SÁNCHEZ DE MUNIÁIN, J. L. (2001): *El papel de los municipios en la gestión de la energía*, Genera Congress, Madrid, marzo.

ULRICH VON WEIZSÄCKER, E., LOVINS, A. B. y LOVINS L. H. (1997): *Factor 4 Duplicar el bienestar con la mitad de recursos naturales*, Galaxia Gutenberg-Círculo de Lectores.

VALERO, A., SUBIELA, V. y CORTÉS, C. (1994): *Balance de emisiones y consumos de dióxido de carbono en España*, Energía, Año XX, septiembre/octubre, pp. 97-107.