



Ciudades energéticamente sostenibles: la transición energética urbana a 2030

Marzo 2019

Han participado en el desarrollo del presente informe los siguientes profesionales de Monitor Deloitte:

- Alberto Amores (Socio)
- Laureano Álvarez (Socio)
- Joaquín Chico (Senior Manager)
- Gonzalo Ramajo (Manager)
- Ignacio Azabal (Analista)
- José Manuel Urgel (Analista)

Monitor Deloitte es la práctica de consultoría estratégica de Deloitte, integrada por más de 2.000 profesionales en 30 países.

Para afrontar el futuro con confianza, las organizaciones deben tomar decisiones correctas: elecciones claras, oportunas e inspiradoras, que les generen crecimiento en un mundo dinámico. Los profesionales de Monitor Deloitte combinan unos profundos conocimientos de la industria con las metodologías más avanzadas, para ayudar a sus clientes a resolver sus decisiones más críticas, generar valor y lograr un éxito transformador.

Contenido

Objetivos del estudio	5
Resumen ejecutivo	6
Las ciudades son un elemento clave en la transición energética	18
Las ciudades consumen el 40% de la energía final y están relacionadas con hasta el 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	18
Las ciudades se han comprometido a ambiciosos objetivos de mejora de su sostenibilidad energética	22
La evolución natural de las ciudades no es suficiente para alcanzar los objetivos de emisiones y de calidad del aire	25
Para analizar las ciudades españolas se han definido cuatro arquetipos diferentes	25
Las ciudades españolas ya están desarrollando medidas para mejorar la sostenibilidad energética	26
A pesar de los esfuerzos se necesitan medidas adicionales; al ritmo actual no se conseguirán los objetivos	27
Transporte: reducir el uso del vehículo particular y acelerar la adopción de vehículos menos contaminantes	31
Residencial: fomentar equipos térmicos más eficientes, sistemas de control del consumo y rehabilitaciones	40
Servicios (oficinas y comercios): impulsar el desarrollo de la bomba de calor y la mejora de los sistemas de iluminación	48
Consumos municipales: asegurar una iluminación eficiente, electrificar la flota municipal y mejorar la sostenibilidad de edificios municipales	54
Cambiar el modelo energético requiere el apoyo de las Administraciones	56
Son necesarios entre 1.000 y 4.000 euros por habitante de sobreinversión para conseguir el esfuerzo adicional de reducciones de emisiones	56
Entre el 50 y el 80% de las emisiones abatidas vienen derivadas de actuaciones con un coste de abatimiento negativo	57
Recomendaciones para la sostenibilidad energética urbana	61
La transición requiere medidas que actúen en cuatro dimensiones del modelo energético de las ciudades	61
Establecer objetivos y modelo de gobernanza de sostenibilidad energética en cada municipio	61
Favorecer un transporte de pasajeros con mayor peso del transporte público, medios no-motorizados y fuentes de energía no contaminantes	62
Desarrollar actuaciones que incrementen la eficiencia energética y las fuentes limpias en la edificación	64
Convertir a las Administraciones Municipales en un ejemplo de sostenibilidad en sus usos energéticos	65

Un Índice de Ciudades Energéticamente Sostenibles permitiría seguir el progreso hacia la sostenibilidad energética urbana	66
Necesidad de un índice para medir la sostenibilidad energética de las ciudades	66
Definición de la sostenibilidad energética urbana	66
El Índice de Ciudades Energéticamente Sostenibles (ICES)	66
Metodología de cálculo de Índice	67
Estimación ilustrativa del Índice de Ciudades Energéticamente Sostenibles	69
Anexo I: curvas de abatimiento	71
Bibliografía	76
Contactos	77

Objetivos del estudio

Desde el año 2016, Monitor Deloitte ha venido analizando en profundidad la transición energética y sus implicaciones para España. Fruto de este esfuerzo ha sido la publicación de los estudios “Un modelo energético sostenible para España en 2050”, “Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050”, “Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación” y “Hacia la descarbonización de la economía: la contribución de las redes a la transición energética”. En ellos se realiza una **reflexión analítica acerca del impacto de cumplir con los compromisos medioambientales pactados** y las transformaciones que serían necesarias en la economía y en el modelo energético para conseguir estos objetivos. En este contexto, el presente estudio pretende seguir profundizando en dicha línea. En esta ocasión, **el foco del análisis es el papel que las ciudades deben desempeñar en esta transición**, en particular:

- Entender **cómo consumen energía y cómo emiten las ciudades** españolas y analizar los objetivos que deberían asumir para contribuir de forma decidida al cumplimiento de los compromisos medioambientales nacionales y europeos.
- Entender cuáles son **las actuaciones de sostenibilidad energética y las barreras más relevantes para su desarrollo** en cada tipo de ciudad.
- Cuantificar el **coste necesario de impulsar esta sostenibilidad** energética en las ciudades.
- Definir qué **medidas deben tomarse**, por parte de las diferentes Administraciones Públicas, para activar la transición energética en las ciudades.
- Proponer un **índice de sostenibilidad energética urbana**, que permita medir el grado de sostenibilidad energética urbana y comparar de manera objetiva las iniciativas de sostenibilidad impulsadas en cada ciudad.

En esta ocasión, para el desarrollo de este trabajo, Monitor Deloitte ha contado con la colaboración de Endesa. Adicionalmente, han participado voluntariamente una serie de expertos, cuyo objetivo ha sido el de enriquecer los puntos de partida del estudio, así como el de aportar diferentes visiones sobre las cuestiones más relevantes para la sostenibilidad de las ciudades. Los contenidos, análisis, conclusiones y recomendaciones descritos en este estudio no tienen por qué reflejar la opinión de estos expertos participantes. Monitor Deloitte quiere agradecer la colaboración prestada por las siguientes personas:

- Pilar Budí, Directora General de la Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización.
- Josep Canós, Decano del Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Cataluña.
- Dolores Huerta, Secretaria Técnica del Green Building Council.
- Ignacio Oteiza, Carmen Alonso y Fernando Martín-Consuegra, Investigadores del Instituto Eduardo Torroja (CSIC).
- Pedro A. Prieto, Director de Ahorro y Eficiencia Energética y Pilar de Arriba, Responsable de Proyecto del Departamento de Planificación y Estudios del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- Francisco Javier Sigüenza, Secretario General de la Asociación de Empresas de Mantenimiento Integral y Servicios Energéticos.
- Alicia Torrego, Gerente de la Fundación Conama.

Adicionalmente, queremos agradecer a los miembros de los ayuntamientos de A Coruña, Barcelona, Madrid, Málaga, Sevilla, Vitoria, y Zaragoza con el que hemos tenido la oportunidad de entrevistarnos.

Resumen ejecutivo

Las ciudades son un elemento clave en la transición energética

Las ciudades consumen el 40% de la energía final y están relacionadas con hasta el 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

En España, las ciudades¹ concentran el 70% de la población, en ellas se **consume el 40% de la energía final (en los sectores edificación y transporte rodado²)**, y están relacionadas con el **70% del total de emisiones GEI** (229 MtCO₂eq frente a un total nacional de 324 MtCO₂eq en el año 2016).

De las emisiones relacionadas con las ciudades: **69 MtCO₂eq (~20%** del total de emisiones GEI de España) son **emisiones directas** generadas en la propia ciudad por los principales sectores (edificación, transporte rodado y residuos); **30 MtCO₂eq (~10%)** son **emisiones indirectas** (derivadas de la generación de la electricidad y refino necesarios para el consumo en las ciudades); y **130 MtCO₂eq (~40%)** son **emisiones asociadas³**, producidas fuera de la ciudad, pero necesarias para obtener y transportar a las ciudades los productos consumidos en las mismas.

Las emisiones de elementos contaminantes, como partículas o NO_x, están también relacionadas con la actividad en las ciudades. Se emiten el **30% de las emisiones de NO_x** y el **55% de las de partículas** en menos del 10% de la superficie de España. La concentración de estos contaminantes **ha sobrepasado los límites legales** en diversas ocasiones en los últimos años en varias ciudades españolas (por ejemplo, NO_x en Madrid o Barcelona), con el consiguiente riesgo para la salud de sus habitantes.

El desarrollo de la economía y el aumento de la población de las ciudades sólo va a agravar la situación, lo que **aumenta la necesidad de acelerar la transición hacia la sostenibilidad energética en las ciudades**.

Las ciudades se han comprometido a ambiciosos objetivos de mejora de su sostenibilidad energética

Los municipios firmantes del Pacto de los Alcaldes⁴ se comprometen a actuar para **reducir las emisiones de CO₂ al menos un 40% en 2030⁵**. Los firmantes también comparten la visión de que las ciudades deben estar libres de emisiones en 2050. A nivel nacional, el anteproyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética y el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (presentados en febrero de 2019) aspiran a reducir las emisiones GEI en España por debajo de 230 MtCO₂eq en 2030 (reducción de emisiones de GEI en al menos un 20% con respecto a 1990, lo que equivale a un ~30% respecto a 2016). Las ciudades **cuentan con mayor facilidad para conseguir esta disminución de emisiones**, debido a que sus principales sectores emisores disponen ya de tecnologías suficientemente maduras para su despliegue masivo (por ejemplo, el cambio modal o vehículos menos contaminantes en el transporte; los sistemas de control o las bombas de calor en la edificación), y por ello tiene sentido este mayor nivel de ambición (reducción del 30% de las emisiones nacionales en el periodo 2016-2030 vs. reducción del 40% en las ciudades). De esta manera, se compensan las dificultades a las que se enfrentan otros sectores, por ejemplo, la industria, el transporte pesado de mercancías o los sectores no energéticos. Por todo ello, este estudio toma el objetivo del Pacto de los Alcaldes como referencia para la reducción de emisiones⁶.

1 Municipios que cuenten con al menos 50.000 habitantes, incluyendo sus municipios colindantes de más de 1.000 habitantes

2 Otros sectores con consumos de energía y/o de emisiones en ciudades, por ejemplo, la gestión de residuos, el industrial o el transporte aéreo, no se han considerado en este estudio debido al menor peso relativo de sus emisiones y/o a la menor capacidad de actuación en el ámbito municipal sobre ellos. Como ejemplo, en el año 2016 el industrial fue responsable del 6% y el transporte no rodado del 8% de las emisiones GEI de la ciudad de Madrid

3 No se han considerado a efectos de este estudio

4 Iniciativa impulsada por la Comisión Europea cuyo objetivo es acelerar el proceso de transición energética en las ciudades y conseguir que sus habitantes disfruten de acceso a una energía segura, sostenible y asequible. Al pacto se han sumado ya más de 7.000 municipios de 57 países, incluyendo las principales ciudades españolas

5 No existe homogeneidad en el año de referencia utilizado por las ciudades para medir la reducción del 40% de emisiones, asumida en el marco del Pacto de los Alcaldes. Las ciudades usan como referencia el primer año que tienen disponible un inventario o medición de sus emisiones. El estudio toma 2016 como año base para reducir el 40% de emisiones de las ciudades a 2030

6 El objetivo considerado para las ciudades se aplica sobre sus emisiones directas e indirectas



Este objetivo supone que, **en España, las actuales ~100 MtCO₂eq de emisiones directas e indirectas de las ciudades tendrán que pasar a 60 MtCO₂eq en 2030 y a 0 en 2050.**

En la misma línea de mejora de la sostenibilidad, las ciudades están impulsando medidas para **mejorar la calidad del aire**. España tiene el objetivo de reducir las emisiones de elementos contaminantes a 2030, respecto al valor de 2005, un 88% para el SO₂, un 62% para el NO_x y un 50% para PM_{2,5}. Las ciudades son las más afectadas por estas emisiones y las que más activamente están tratando de limitarlas.

Reducir las emisiones GEI y de elementos contaminantes **debe ser una prioridad para las Administraciones Públicas**. Las ciudades **tienen el compromiso, las posibilidades técnicas y la necesidad de contribuir** a esta reducción.

La evolución natural de las ciudades no es suficiente para alcanzar los objetivos de emisiones y de calidad del aire

Para analizar las ciudades españolas se han definido cuatro arquetipos diferentes

Se han analizado siete ciudades españolas (A Coruña, Barcelona, Madrid, Málaga, Sevilla, Vitoria, Zaragoza) que representan las diferentes realidades de las ciudades en nuestro país en cuanto a clima (frío y templado) y tamaño (grandes⁷ y medias). De acuerdo a su consumo de energía y emisiones por sector se pueden agrupar en **4 arquetipos de ciudad**:

- **Ciudad grande de clima frío:** con peso similar de las emisiones del sector edificación (50%) y del transporte (50%), por el elevado consumo de calefacción y al mayor peso de los trayectos entre la ciudad y la zona metropolitana.
- **Ciudad grande de clima templado:** con peso de las emisiones del transporte (62%) superior al de la edificación (38%), debido al peso de los trayectos entre la ciudad y la zona metropolitana, y a la menor necesidad de calefacción que en ciudades más frías.
- **Ciudad media de clima frío:** con peso del sector edificación (57-69%) muy superior al del transporte, debido a las mayores necesidades de calefacción y a las menores necesidades de transporte motorizado dentro de la propia ciudad.
- **Ciudad media de clima templado:** con peso de las emisiones del sector transporte (58-64%) es superior al de la edificación, debido fundamentalmente a las menores necesidades de calefacción.

7 Más de 1 millón de habitantes

Las ciudades españolas ya están desarrollando medidas para mejorar la sostenibilidad energética

Las ciudades analizadas ya están trabajando en la mejora de la sostenibilidad energética, y se pueden observar mejores prácticas:

En el apoyo municipal a la sostenibilidad, por ejemplo, **Madrid publica periódicamente un inventario de consumo de energía y de emisiones**, elaborado a partir de las directrices de la Agencia Europea de Medio Ambiente. En la ciudad de **Barcelona, el parque de autobuses urbanos municipal está entre los más sostenibles de Europa**, y está dedicando esfuerzos al desarrollo de líneas de autobús eléctrico.

- En el sector **edificación**, destaca el impulso desarrollado por **Zaragoza**. En edificios existentes, por ejemplo, se han destinado ayudas a la rehabilitación con criterios de sostenibilidad energética a más de 3.500 edificios con antigüedad superior a 40 años. En nueva edificación, se han construido 10.000 viviendas con criterios bioclimáticos en la eco-ciudad de Valdespartera, con un ahorro en el consumo energético de hasta un 90%.
- En transporte, se podría destacar la ciudad de **Vitoria y su impulso del transporte no motorizado**, que ha pasado de suponer un 52% de los trayectos en 2006 al 65% en 2016, facilitado por el Plan de Movilidad Sostenible desarrollado por el ayuntamiento. La ciudad de **Sevilla destaca en el fomento del transporte en bicicleta** (es la ciudad analizada con una mayor cuota modal en este medio de transporte) y la ciudad de **Málaga es reseñable el fomento de la movilidad sostenible**, con el proyecto Zem2All (piloto de 200 vehículos eléctricos y 240 puntos de carga).

A pesar de los esfuerzos se necesitan medidas adicionales, al ritmo actual no se conseguirán los objetivos

El incremento de la actividad económica y la población en las ciudades (especialmente en las grandes) impulsarán el crecimiento de las emisiones GEI y la contaminación entre un 15-20% hasta el año 2030. **Este incremento tendencial se verá compensado por dos grandes efectos de reducción de emisiones:** i) la renovación natural de equipos al finalizar su vida útil (el desarrollo tecnológico y la regulación hacen que las opciones actuales de los usuarios sean más eficientes y menos contaminantes que los equipos antiguos sustituidos) y ii) la reducción del factor de emisión del mix de generación eléctrica gracias al incremento de renovables.

Sin embargo, esta evolución **no permitirá a las ciudades españolas alcanzar el objetivo** del Pacto de los Alcaldes de reducir un 40% las emisiones GEI a 2030. Será necesario realizar un **esfuerzo adicional** (ver Cuadro 1).

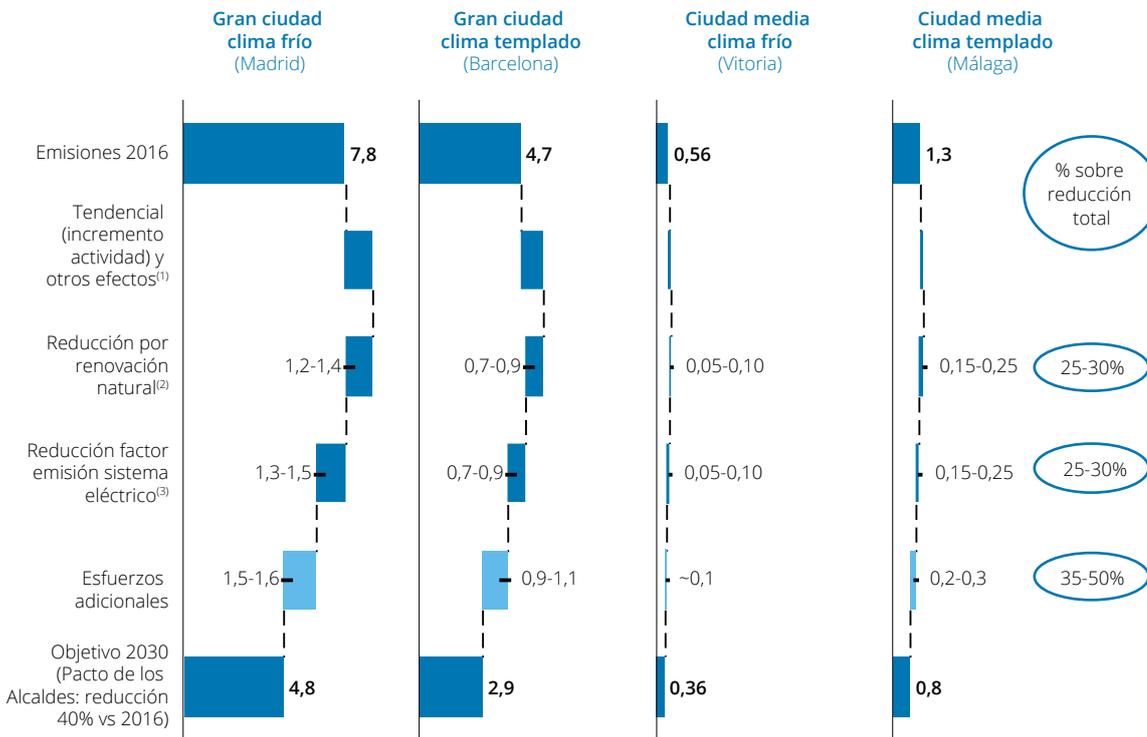
Adicionalmente, en lo que respecta a la evolución de la calidad del aire, la superación de los límites legales de concentración de elementos contaminantes (especialmente NO_x) en algunas ciudades obliga a **desarrollar actuaciones de sostenibilidad energética urbana en el muy corto plazo, especialmente en el sector del transporte rodado** (que supone el principal causante de la concentración de NO_x en ciudades⁸). La gravedad del problema requiere medidas con efecto inmediato, dado que no es posible confiar la mejora de la calidad del aire a la renovación natural de vehículos.

Para conseguir esta necesaria reducción adicional de emisiones, se ha identificado un **conjunto de actuaciones** para cada sector: **transporte** (cambio modal a transporte público o caminar, desarrollo de movilidad inteligente, penetración de vehículos eléctricos, renovación de vehículos antiguos por vehículos nuevos), **edificación** (mejora del uso de la energía, cambio de equipos térmicos y eléctricos por otros más eficientes, rehabilitación y desarrollo de autoconsumo) y **servicios municipales** (mejora de la iluminación pública y vehículos municipales eléctricos).

La evolución tendencial no permitirá a las ciudades españolas alcanzar el objetivo de reducir un 40% las emisiones GEI a 2030

8 El 60-80% de la concentración media anual de NO_x derivada de fuentes locales es debida al tráfico rodado. Fuente: Inventario nacional de emisiones a la atmósfera

Cuadro 1: Emisiones GEI directas e indirectas a 2030
(MtCO₂eq/año)



- (1) En otros efectos se incluye una reducción del 15% de las emisiones generadas por el sector residuos, en línea con la reducción de los sectores no energéticos
 (2) Incluye renovación de equipos térmicos (cada 15-20 años) y eléctricos en edificación (cada 10-15 años), renovación de vehículos convencionales (cada 13-18 años)
 (3) Considera una reducción del 60-70% del factor de emisión del sistema eléctrico

Fuente: análisis Monitor Deloitte

Transporte: reducir el uso del vehículo particular y acelerar la adopción de vehículos menos contaminantes

En las ciudades, el transporte de pasajeros engloba el 70-80% del consumo de energía y de emisiones de este sector, lo que implica que sea el foco principal de las actuaciones a realizar en las mismas. El tipo de actuaciones a desarrollar en el sector transporte depende fundamentalmente del tamaño de la ciudad, del peso de las áreas metropolitanas (vs. el centro de la ciudad) y de la orografía.

Para priorizar la penetración de actuaciones en este sector se ha tenido en consideración la reducción de emisiones GEI de cada una ellas, de congestiones de la ciudad, liberación del espacio público y la mejora de la calidad del aire. En este sentido, las actuaciones prioritarias serían el cambio modal, la movilidad inteligente, el fomento del vehículo eléctrico y desincentivar la circulación de los vehículos más antiguos y contaminantes:

- **Cambio modal a transporte público:** Esta actuación permite reducir las emisiones GEI por pasajero-km (directas e indirectas) un 70%, en caso de autobús convencional y más de un 90%, en caso de tren o metro. El peso del transporte público en las grandes ciudades es un 30-35% frente al 10-15% en ciudades medias⁹. El factor que mejor **explica el uso del transporte público**, dados unos niveles de capilaridad y frecuencia adecuados, es la **dificultad para el uso del vehículo particular** (congestiones, aparcamiento, restricciones de circulación, etc.). **En España, las grandes ciudades presentan niveles de oferta y de calidad de servicio de transporte público comparables**, e incluso superiores, **a los de las grandes ciudades internacionales¹⁰**, aunque las restricciones al uso del vehículo particular son todavía limitadas. Estas ciudades deberían aumentar el uso de transporte público (entre 3 y 5 p.p. de incremento de cuota modal en 2030, para acercarse a las ciudades de referencia), apoyándose en mayores restricciones al uso del vehículo privado.

⁹ Medido en trayectos-pasajero totales de la ciudad

¹⁰ Comparado con un vehículo particular.

- **Cambio modal a medios no motorizados:** En ciudades medias, el peso del transporte no motorizado es 45-50% frente al ~30% en ciudades grandes. Caminar tiene un mayor potencial en ciudades medias que en ciudades más grandes, donde los trayectos medios son más largos. El cambio a bicicleta¹¹ depende de actuaciones como desarrollar carriles y aparcamientos específicos para estos vehículos. Sería necesario un incremento de la cuota de medios no motorizados del ~5 p.p. tanto en ciudades medias como grandes.
- **Movilidad inteligente:** El uso de nuevos modelos como carsharing o carpooling está creciendo en los últimos años gracias a la digitalización y al crecimiento de la oferta. **Esta actuación presenta un mayor potencial en grandes ciudades**, ya que existe una mayor demanda que permite la escala necesaria para su viabilidad económica. En este tipo de ciudades, en 2030 hasta un 10% de los trayectos en vehículo particular debería realizarse en este tipo de modo. En ciudades medias, la penetración probablemente sería más reducida (3-5% en 2030).
- **Fomento del vehículo eléctrico:** Un vehículo eléctrico no tiene emisiones de partículas y NOx directas y emite 6-7 veces menos emisiones GEI¹² que un Euro III y 3 veces menos que un convencional nuevo. El crecimiento del vehículo eléctrico a futuro dependerá de: la disponibilidad de nuevos modelos, el acceso a puntos de carga y la intensidad de las restricciones a la circulación. Las diferentes Administraciones Públicas locales deben impulsar medidas que faciliten su desarrollo, tales como la agilización de trámites, la liberación de suelo público, la definición de un modelo de despliegue para la infraestructura de recarga y exenciones en los impuestos municipales (Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica). **Para alcanzar los objetivos del Pacto de los Alcaldes la penetración del vehículo eléctrico debería alcanzar el 25-30% del parque en 2030.**
- **Desincentivar la circulación de los vehículos más antiguos y contaminantes:** En la actualidad, el parque de turismos españoles tiene una antigüedad media superior a 14 años¹³ (un ~40% no alcanzan las especificaciones mínimas para tener un distintivo medioambiental de la DGT¹⁴). Un vehículo antiguo diésel Euro III¹⁵ emite 10 veces más partículas, 6 veces más NOx y casi 2 veces más emisiones GEI que un vehículo convencional diésel Euro VI nuevo a lo largo de toda su vida. Las autoridades municipales necesitan establecer restricciones al tráfico de los vehículos más antiguos, ampliar las zonas afectadas por estas restricciones y aplicar una mayor fiscalidad a vehículos más contaminantes.

En las ciudades, **el parque de vehículos** debería ser 70-75% vehículos convencionales y 25-30% de vehículos eléctricos, **con una antigüedad media de 6-7 años** (4-5 años menos que el parque actual en las ciudades). Este proceso de renovación supone un aumento de un 10-30% de las ventas anuales de vehículos y un relevante despliegue de infraestructura de carga para el vehículo eléctrico.



11 A efectos de este estudio, las bicicletas y patinetes eléctricos, así como otros vehículos de movilidad personal con motor se consideran transporte no motorizado

12 Asume el mix medio del sistema de generación español en la actualidad

13 En las ciudades analizadas este valor se sitúa en 10 - 11 años

14 Turismo con clasificación inferior a Euro III (gasolina) o Euro IV (diesel)

15 Vehículo matriculado antes del año 2005 y que no alcanza las especificaciones mínimas para tener distintivo medioambiental de la DGT

- **Cambio a vehículos (transporte público) menos contaminantes:** El autobús de gas natural es una alternativa competitiva (casi con el mismo coste completo que un autobús diésel) y que permite mejorar la calidad del aire en las ciudades (emisiones de elementos contaminantes un 80-100% menores que un diésel antiguo). Asimismo, los autobuses convencionales nuevos, equipados con sistemas de limpieza de gases de escape, permiten a estos emitir elementos contaminantes casi al mismo nivel que un autobús de gas natural. Por su parte, los autobuses eléctricos aún presentan costes de adquisición superiores a los convencionales, aunque sus costes de operación son inferiores. Por ello, deberían adoptarse progresivamente desde las grandes ciudades, que cuentan con más recursos y capacidades.

Residencial: fomentar equipos térmicos más eficientes, sistemas de control del consumo y rehabilitaciones

La **calefacción y el agua caliente sanitaria (ACS)** suponen los **consumos energéticos más relevantes** de un hogar (60-70% del consumo de energía). En ciudades con climas fríos un hogar puede consumir un 50-80% más de energía que un hogar en un clima templado, lo que implica que el clima es el factor más relevante para analizar consumos y actuaciones de sostenibilidad urbana en este sector. En función del potencial de abatimiento de emisiones GEI, el retorno de las actuaciones, la inversión y otras consideraciones como el equipamiento original del hogar, las actuaciones prioritarias serían: implantación de sistemas de control del consumo de calefacción, cambio a equipo térmico más eficiente, rehabilitaciones, renovación de electrodomésticos y, en menor medida, instalación de autoconsumo.

- Los **sistemas de control de consumo de calefacción** (termostatos que permitan ajustar el consumo de calefacción a las necesidades puntuales del hogar) pueden reducir entre un 15 y un 30% el consumo de energía en calefacción. En ciudades de clima frío con mayor consumo térmico y presencia de sistemas centralizados, se requeriría una penetración del 30-50% de hogares con estos sistemas para el año 2030. Esta actuación debería ser prioritaria, dado que hace más eficientes las inversiones en el resto de actuaciones posteriores.
- La siguiente actuación en prioridad depende de factores tales como el equipamiento de partida (existencia o no de radiadores), la zona climática, la inversión/grado de profundidad en la renovación que se debe acometer, etc. Estos factores deberían determinar si la actuación es la **renovación por equipos térmicos más eficientes** (bomba de calor o caldera de gas natural de condensación), la **rehabilitación** o una **combinación de ambas**:
 - La **bomba de calor**, debido a su superior rendimiento¹⁶ **presenta la mayor capacidad de reducción de consumo de energía y emisiones de un hogar. En climas fríos**, la existencia previa de sistemas de calefacción por radiador con caldera dificultan el cambio a este tipo de equipos, ya que requieren de la instalación de una bomba de calor, aire-agua, que conlleva una actuación de mayor coste y más compleja¹⁷ para conseguir un confort térmico similar. Esto supone que esta actuación en climas fríos tiene un mayor coste completo para el usuario que un sistema basado en una caldera de gas natural de condensación. La tarifa eléctrica actual, junto con estas barreras mencionadas, son los factores fundamentales de este mayor coste. Una mejora de éstos (por ejemplo, una tarifa que reflejara adecuadamente los costes de suministro, o el desarrollo de la tecnología) haría que, en climas fríos, la bomba de calor alcanzara un coste completo similar a una caldera de gas natural de condensación.

En ciudades con **clima templado**, la bomba de calor aire-aire, con un menor coste de instalación, es la actuación más adecuada (por su mayor rendimiento y la rentabilidad para el usuario) y el 30% de los hogares a 2030 deberían sustituir su sistema por uno basado en esta tecnología. Por su parte, **en ciudades de climas fríos¹⁸ se debería impulsar la sustitución anticipada de equipos térmicos** (calderas convencionales de gas natural o de productos petrolíferos) por **calderas de condensación de gas natural** (un 30-40% de las calderas térmicas) y el **cambio a bomba de calor** (~10% de los hogares a 2030) en aquellos casos que permitan reducir sus barreras, como en una rehabilitación integral o en edificios de nueva construcción.

- Existen diferentes tipos de **rehabilitaciones para reducir el consumo energético** en un edificio residencial (fachadas, cubiertas, ventanas o integrales). Sin embargo, **debido a las barreras para su desarrollo** (altas inversiones, largos plazos de recuperación de la misma, falta de cultura de rehabilitación, necesidad de acuerdo en comunidad de propietarios para algunas actuaciones, etc.) se han considerado **penetraciones**

¹⁶ Rendimientos: bomba de calor (entre 200 y 400%, en función del clima), caldera de condensación (~110%)

¹⁷ Requiere de una obra para la instalación de ductos de climatización con fancoils o sistema de suelo radiante

¹⁸ Alcanzar esta penetración requiere de un ambicioso programa de renovación del parque de calderas y de sustitución por sistemas de bomba de calor. Por ejemplo, en una ciudad de clima frío supone incrementar las ventas anuales de calderas de gas natural de condensación un 30% y en una ciudad de clima templado un 20%.

inferiores a las actuaciones anteriores. La rehabilitación de ventanas es la que presenta menores barreras (menos inversión, menores dificultades de ejecución). En ciudades de clima frío se requeriría la rehabilitación del 10-20% de los hogares para el año 2030, de las cuales el ~75% serían rehabilitaciones de ventanas.

A pesar de la relevante reducción de consumo que producen las rehabilitaciones (>60% del consumo de calefacción en caso de rehabilitación integral), con la bomba de calor se producen mayores reducciones de consumo y hay que superar menos barreras a su desarrollo, especialmente en ciudades con clima templado. En este tipo de ciudades, esta solución, además presenta un menor coste final para el usuario.

- El **autoconsumo** residencial en las ciudades debería desarrollarse principalmente en tejados con una superficie disponible suficientemente grande, de fácil acceso y con la orientación adecuada, o en superficies próximas a los edificios (patios, jardines, tejados de aparcamientos etc.). De esta manera se podrán desarrollar instalaciones lo suficientemente grandes como para capturar economías de escala (que pueden suponer una diferencia en coste total de hasta el 30% frente a una instalación con una única placa fotovoltaica). Asimismo, también pueden desarrollarse modelos de autoconsumo compartido entre varios vecinos para compartir la instalación en caso de no disponer de superficie para cada uno de ellos.

Servicios (oficinas y comercios): impulsar el desarrollo de la bomba de calor y la mejora de los sistemas de iluminación

El sector servicios agrupa tipos de edificios muy diferentes: oficinas, grandes centros comerciales, pequeños comercios, hospitales, polideportivos, hoteles, cafeterías, centros educativos, etc. Sin embargo, oficinas y comercios suponen el 65% del consumo de energía y son el núcleo de los análisis y recomendaciones. Los mayores consumos en estos sectores son la climatización (40-60%) y la iluminación (20-45%) y las principales actuaciones analizadas para la mejora de sostenibilidad en este sector serían:

- La **bomba de calor**, que **es una opción mucho más competitiva en grandes superficies (centros comerciales, grandes edificios de oficinas)** que en el sector residencial, por la mayor demanda relativa de refrigeración (la bomba de calor es más competitiva frente a un sistema de calefacción y otro de refrigeración), el mayor consumo que compensa el mayor coste inicial y la ausencia de otras barreras adicionales (reducida existencia previa de sistemas de calefacción con radiador o la mayor racionalidad). De acuerdo a este mayor atractivo, se requeriría una **penetración, adicional a la actual, del 30-40% de la superficie** de oficinas y comercio para el año 2030.
- La **iluminación** es otro de los consumos con un mayor potencial de reducción. El cambio de equipos de iluminación a sistemas LED **permite un ahorro unitario del 70-80% del consumo**, mientras que los sistemas de control inteligente de la iluminación producen una reducción del 15-30%. La elevada rentabilidad de estas actuaciones, hace que instalar iluminación LED en el **90-100% de la superficie** del sector servicios **para el año 2030** sea un objetivo realista.
- El **autoconsumo** en el sector servicios se enfrenta a menores barreras por la mayor facilidad para encontrar emplazamientos adecuados, ya que determinadas instalaciones (grandes edificios comerciales, oficinas, parkings, polideportivos, etc.) tienen cubiertas suficientemente grandes y accesibles. En estos casos, el autoconsumo supone para el propietario un ahorro respecto a las tarifas eléctricas actuales en gran parte de la geografía española. Un gran edificio de servicios (por ejemplo, centro comercial, gran edificio de oficinas) puede producir hasta el 15-25% de su consumo eléctrico mediante instalaciones de autoconsumo.

A pesar de la relevante reducción de consumo que producen las rehabilitaciones, con la bomba de calor se consiguen mayores reducciones de consumo y hay que superar menos barreras a su desarrollo

Consumos municipales: asegurar una iluminación eficiente, electrificar la flota municipal y mejorar la sostenibilidad de los edificios municipales

El consumo de energía de los servicios municipales de una ciudad supone un peso muy reducido sobre el consumo total (en Madrid, el consumo en iluminación pública es el ~1% del consumo total de electricidad de la ciudad). A pesar de ello, **el sector público debe impulsar el desarrollo de medidas de sostenibilidad energética como ejemplo para el resto de agentes.**

La **mejora de la iluminación pública** (mediante la sustitución a lámparas LED y la penetración de sistemas inteligentes de gestión de consumo) y las flotas de **vehículos públicos cero emisiones** han de ser el foco de actuación (excluyendo las actuaciones en edificios municipales, para el cual las actuaciones propuestas son análogas a las recogidas en el análisis del sector servicios).

Por otro lado, **el autoconsumo en edificios municipales**, al igual que en el sector servicios, **presenta un potencial ahorro en instalaciones con cubiertas adecuadas** para la instalación de estos equipos (aparcamientos municipales, polideportivos, recintos de oficinas adecuados, etc.). Sin embargo, algunos municipios están promoviendo instalaciones de generación renovables en las cercanías de las ciudades, donde es más eficiente aprovechar el recurso que en los propios edificios, esto consigue abatir las mismas emisiones con un 5-20% menos de coste.

Cambiar el modelo energético requiere el apoyo de las Administraciones

Las actuaciones adicionales para alcanzar el objetivo de reducción del 40% requerirán una **sobreinversión¹⁹ hasta el año 2030 de entre 1.000 y 4.000 euros por habitante**, en función del arquetipo de ciudad. En una ciudad grande de clima frío como la ciudad de Madrid se requerirá entre 1.500 y 2.000 euros por habitante (5.000-6.000 millones de € en total), mientras que, en una ciudad de tamaño medio con clima frío como Vitoria, esta inversión se situaría en 2.000-4.000 euros por habitante (500-1.000 millones de € en total).

La mayoría de las actuaciones de sostenibilidad son actuaciones con un coste de abatimiento negativo, es decir, **actuaciones donde el valor económico de la energía ahorrada es mayor que la sobreinversión necesaria**. Este resultado representa el hecho de que la mayoría de los equipos y tecnologías necesarios para realizar la transición energética urbana ya están disponibles y son más competitivos que otras opciones menos sostenibles. Por otro lado, existe **otra serie de actuaciones con un coste de abatimiento positivo²⁰**, que, en condiciones normales, no serían ejecutadas por ciudadanos y empresas, ya que **suponen un mayor coste que otra actuación alternativa**. Estas actuaciones **requieren un impulso regulatorio y normativo** por parte de las Administraciones Públicas, que incentive la adopción de las mismas al nivel necesario.

El **beneficio de las actuaciones con coste de abatimiento negativo compensa el coste del resto de actuaciones con coste de abatimiento positivo**. En neto, **un ciudadano medio conseguiría un ahorro de hasta 2.000 euros²¹ como resultado de las inversiones necesarias** para reducir las emisiones en las ciudades españolas y alcanzar el objetivo del Pacto de los Alcaldes.

Recomendaciones para la sostenibilidad energética urbana

La transición requiere medidas que actúen en cuatro dimensiones del modelo energético de las ciudades

La transición energética en las ciudades españolas requiere medidas que actúen en cuatro ejes: i) definir objetivos y modelo de gobernanza municipales, ii) impulsar nuevos modelos de movilidad sostenible, iii) desarrollar actuaciones que incrementen la eficiencia energética y los usos de energías no emisoras en la edificación y iv) convertir a las Administraciones Municipales en un ejemplo de sostenibilidad energética.

Las medidas presentadas están dirigidas principalmente a los ayuntamientos, aunque también se han determinado algunas, que, por su naturaleza o especial relevancia, deben ser impulsadas o activadas por otras Administraciones.

¹⁹ La sobreinversión se define como la diferencia de inversiones entre la opción considerada en el estudio como actuación energéticamente sostenible y la opción convencional (por ejemplo, diferencia de inversión entre un vehículo eléctrico y un vehículo convencional)

²⁰ Actuaciones donde el ahorro de consumo de energía no permite recuperar el mayor coste de inversión necesario

²¹ En función del tipo de ciudad este ahorro puede variar entre 0 y 2.000 euros

Establecer objetivos y modelo de gobernanza de sostenibilidad energética en cada municipio

- Poner en marcha procesos **de medición, inventariado y reporte de consumos energéticos y de emisiones**. Crear **unidades organizativas** responsables de dichos procesos en las Administraciones Locales y dotarlas de recursos especializados.
- Definir (o confirmar) los **objetivos de sostenibilidad energética** de cada ciudad a 2030 y 2050, de forma coherente con los asumidos a nivel nacional.
- Diseñar y aprobar **planes estratégicos municipales de sostenibilidad energética** que permitan el cumplimiento de los objetivos asumidos de reducción de emisiones GEI y de calidad del aire.
- Establecer **modelos de gobernanza a nivel municipal** que permitan definir un reparto de **roles y responsabilidades** e impulsar los organismos y mecanismos de **coordinación** entre municipios.
- Implantar un **índice que mida el avance de las ciudades hacia la sostenibilidad energética** y que permita **identificar mejores prácticas**.

Favorecer un transporte de pasajeros con mayor peso del transporte público, medios no-motorizados y fuentes de energía no contaminantes

- Establecer obligaciones para que los Ayuntamientos realicen periódicamente **encuestas de movilidad** que permitan conocer los patrones de movilidad de sus ciudadanos.
- Definir **planes de movilidad** para la reducción de emisiones y la mejora de la calidad del aire comprometida a 2030, estableciendo objetivos de uso por modo de transporte.
- Definir **planes de actuación para cada municipio** que incluyan: i) **restringir el acceso y la circulación** de vehículos a centros urbanos en función de sus emisiones GEI y de elementos contaminantes (por antigüedad o por etiquetado DGT), ii) ampliar y mejorar el servicio de transporte público a zonas/barrios con menor cobertura, iii) **facilitar el uso de modos de transporte no motorizados**, mediante el desarrollo de carriles exclusivos y aparcamientos localizados en puntos clave, iv) **potenciar la intermodalidad** en las grandes ciudades, con el desarrollo de las infraestructuras necesarias (aparcamientos disuasorios, líneas de autobús, etc.).
- Realizar **campañas informativas y de concienciación** sobre los objetivos, así como los beneficios para la calidad del aire y la mejora de la movilidad en las ciudades.
- Desarrollar normativa que facilite el despliegue de **modelos de negocio de movilidad inteligente (carsharing, carpooling, etc.)**, especialmente en las grandes ciudades. Obligar a que estos modelos se desarrollen con movilidad eléctrica y de modo integrado con otros modos de transporte de la ciudad.
- Fomentar la **penetración de vehículos eléctricos y la retirada de vehículos antiguos** (tanto para turismos como para vehículos comerciales de transporte ligero): i) **objetivos anuales de penetración de vehículos eléctricos y de retirada de vehículos antiguos**, ii) **planes de restricción de acceso y circulación de vehículos emisores, especialmente los más antiguos**, iii) **medidas fiscales para desincentivar el uso de vehículos antiguos** (más contaminantes), e iv) **incentivos económicos** a la adquisición de **vehículos eléctricos basados en exenciones fiscales** (mientras tengan costes superiores a sus equivalentes convencionales, complementando las ayudas establecidas o que se establezcan a nivel estatal y autonómico).
- Fomentar el desarrollo de la **infraestructura de carga de vehículo eléctrico privada y de acceso público**, incluyendo: i) establecer **objetivos de infraestructura pública** de carga y planes de despliegue, ii) **facilitar el desarrollo** de la infraestructura de carga de **acceso público en las ciudades** por parte de entidades municipales, y otras administraciones, y iii) impulsar mecanismos para **reducir las barreras al desarrollo de la ampliación de acometidas para carga privada** en bloques de viviendas.
- Establecer obligaciones para que los centros de trabajo de más de 50 empleados desarrollen **planes corporativos de movilidad sostenible**.

- Desarrollar planes específicos para la **implantación de vehículos menos contaminantes en el transporte público**, estableciendo el objetivo de que todos los nuevos autobuses urbanos de las principales ciudades españolas sean eléctricos a partir del año 2030 y un calendario de **sustitución de autobuses antiguos** por nuevos autobuses menos contaminantes.
- Fomentar que se adapten las actuales **tarifas eléctricas** para que sean una señal de precio eficiente para que la **carga eléctrica se realice en períodos de bajo uso de la red eléctrica**, manteniendo los principios de suficiencia tarifaria.

Desarrollar actuaciones que incrementen la eficiencia energética y las fuentes limpias en la edificación

- Definir **planes de actuación en edificación a nivel municipal** que incluyan: i) elaborar un **inventario del parque de edificios** que permita conocer las soluciones constructivas utilizadas y el equipamiento existente, ii) identificar las **actuaciones prioritarias para cada segmento de edificios**, iii) definir objetivos de desarrollo de cada actuación a 2025 y 2030, iv) desarrollar **planes de inversión** que incluyan los recursos públicos y privados necesarios, y v) definir **medidas concretas para promover las actuaciones**.
- Implantar un **objetivo de que el 100% de los edificios posea certificados energéticos en 2030**. Estos certificados energéticos deberían modificarse para incluir una identificación de las actuaciones a desarrollar en el edificio (actuación a nivel estatal).
- Lanzar **campañas de divulgación a inquilinos y propietarios de inmuebles** sobre las medidas consideradas en los planes de actuación de edificios.
- Establecer un **calendario para la restricción de comercialización de equipos** no eficientes, por ejemplo, a partir de la clase energética del equipo.
- Promover que las **rehabilitaciones en edificios incorporen criterios de sostenibilidad energética** (es decir, aprovechar la rehabilitación natural para incluir actuaciones de eficiencia energética).
- Complementar el **Código Técnico de la Edificación para edificios nuevos** para que establezca límites restrictivos de consumo energético, según zona climática, que hagan necesaria la implantación de soluciones altamente eficientes y de emisiones directas nulas (actuación a nivel estatal).
- Fomentar que se adapten las actuales **tarifas eléctricas para que sean una señal de precio eficiente** que no penalice la adopción de equipos eléctricos frente a otros vectores menos sostenibles.



Convertir a las Administraciones Municipales en un ejemplo de sostenibilidad en sus usos energéticos

- Renovar los **sistemas de iluminación municipales** para que el **100% de la iluminación municipal sea con tecnología LED en 2030**.
- Establecer un calendario de **penetración de vehículos eléctricos** para turismos y vehículos pesados de la flota municipal. Todos los nuevos turismos de flota municipal a partir de 2025 deberían ser cero emisiones, y para los vehículos pesados, esta obligación debería establecerse a partir de 2030.
- Establecer un calendario específico en cada ciudad para que la flota de taxis y vehículos VTC sea eléctrica a partir del año 2022-2025.

Un Índice de Ciudades Energéticamente Sostenibles (ICES) permitiría seguir el progreso hacia la sostenibilidad energética urbana

Necesidad de un índice para medir la sostenibilidad energética de las ciudades

Un índice sería una herramienta útil para determinar el grado de sostenibilidad energética de las ciudades y la efectividad de las medidas que se pongan en marcha para el cumplimiento de los objetivos asumidos a 2030. Hasta el momento, no se ha implantado ningún índice que persiga este objetivo, por lo que se propone un **Índice de Ciudades Energéticamente Sostenibles (ICES)**, cuya adopción y uso por los gestores públicos permitirá **medir la sostenibilidad energética urbana**, para **entender los esfuerzos necesarios** y **enfocarlos en aquellas áreas con mayor impacto** en su mejora.

Definición de la sostenibilidad energética urbana

La sostenibilidad energética urbana se asienta sobre cuatro pilares: i) El **apoyo de las Administraciones Públicas**, que implica la concreción del compromiso de los gestores públicos en objetivos, planes y ejemplaridad, ii) La **eficiencia en el consumo de energía final**, implicando un mayor uso del transporte público y de medios no motorizados, o la renovación de equipos y el incremento de las rehabilitaciones energéticas en el sector edificación, entre otras, iii) La **reducción del impacto en la ciudad del consumo de energía**, entre lo que se encuentra la **mejora de la calidad del aire** y la **reducción de las emisiones GEI** directas, y iv) El consumo de energía con origen **renovable**, y con un **nivel adecuado de asequibilidad y calidad**.

El Índice de Ciudades Energéticamente Sostenibles (ICES)

Se ha definido un índice para evaluar el grado de sostenibilidad energética en una ciudad, de un modo sencillo y eficaz. El **índice se define a partir de los pilares de sostenibilidad energética** descritos previamente, y se calcula con una estructura de indicadores (en paréntesis el peso propuesto de cada pilar):

• Apoyo de las Administraciones Públicas (25%):

- La existencia de programas de medición del consumo de energía y emisiones.
- La existencia de objetivos municipales de sostenibilidad energética urbana.
- La disponibilidad de información sobre la inversión económica destinada a sostenibilidad energética y la cuantía de dicha inversión.
- La ejemplaridad pública: i) calificación energética del parque municipal de edificios; ii) porcentaje de autobuses municipales eléctricos y de gas; iii) porcentaje de vehículos servicios municipales cero emisiones y iv) penetración de iluminación con tecnología LED.

• Eficiencia en el consumo de energía final (25%):

- Para el sector edificación: i) consumo energético unitario en residencial y servicios (corregido por temperatura de la ciudad) y ii) calificación energética media de los edificios de la ciudad.
- Para el sector transporte: i) consumo de energía del sector transporte por habitante, ii) porcentaje de reparto modal entre transporte público, no motorizados y vehículo particular y iii) antigüedad media del parque de vehículos.

- **Reducción del impacto del consumo de energía (emisiones GEI y elementos contaminantes) (25%):**

- Para emisiones GEI directas, incluyendo sector edificación, con porcentajes de consumo energético en edificación por vector energético, y el sector transporte, con el porcentaje de vehículos eléctricos sobre el total de vehículos de la ciudad.
- Para calidad del aire: mediciones de concentración de NO_x y de partículas.

- **Consumo de energía renovable, asequible y de calidad (25%):**

- El porcentaje de consumo eléctrico en la ciudad de origen renovable generado en instalaciones localizadas en la ciudad (o en instalaciones fuera de los límites del propio municipio, pero promovidas por Administraciones Municipales).
- La asequibilidad de la energía, medida como el porcentaje de renta que se destina a consumo de energía.

El índice trata medir la sostenibilidad energética de las ciudades con la vista puesta en 2030. Una ciudad sostenible energéticamente en 2030 de acuerdo a las dimensiones anteriores, tendría un índice equivalente a 100.

Estimación ilustrativa del Índice de Ciudades Energéticamente Sostenibles

La implantación efectiva del Índice requiere la colaboración de los diferentes Ayuntamientos para recopilar la información más actualizada en cada una de las dimensiones analizadas. A efectos ilustrativos, se ha realizado un primer cálculo del índice y la media aritmética del mismo, para las ciudades analizadas, es 39 (la ciudad con el valor más bajo es 28 y el más alto 43). Los rangos en los que se mueven los diferentes componentes del índice son:

- El pilar Apoyo de las Administraciones Públicas entre 11 y 35. Las ciudades con las mejores puntuaciones en este pilar destacan por realizar y publicar una medición de consumo de energía final y emisiones, actualizada anualmente, segmentada por sectores y vectores energéticos y elaborado a partir de guías oficiales y con un despliegue superior al 30% de vehículos de transporte público menos contaminantes.
- El pilar Eficiencia en el consumo de energía final entre 34 y 50. Las ciudades que destacan en este pilar tienen consumos de energía en transporte por habitante menor a 0,15 tep/habitante-año (lo que equivale a unos 2.000 km recorridos en coche al año, cuando la media de las ciudades analizadas está en 3.000 km), gracias al fomento del transporte no motorizado y que este alcance más de un 60% de reparto modal.
- El pilar Reducción del impacto del consumo de energía entre 28 y 44. Las ciudades con mejor puntuación en este pilar presentan un grado de electrificación del consumo residencial superior al 60%, mientras que la media de las ciudades analizadas se encuentra por debajo del 50%.
- El pilar Consumo de energía renovable, asequible y de calidad entre 8 y 65. En las ciudades con mayor valoración en este aspecto, el coste energético de los hogares es alrededor del 10% de la renta familiar, mientras que en otras ciudades este valor puede llegar a ser de hasta el 18%.

Las ciudades españolas ya han tomado conciencia del reto de mejorar la sostenibilidad energética, pero, a día de hoy, aún están lejos del punto de llegada en 2030. Este índice, además permite identificar mejores prácticas en las diferentes ciudades que pueden ser exportadas a otras para la mejora de la sostenibilidad.

Durante siglos **las ciudades han liderado el desarrollo comercial, el crecimiento económico, los avances tecnológicos y la innovación**. Uno de los mayores retos de la sociedad en las próximas décadas es la lucha contra el cambio climático y la transición energética, y las ciudades deben mostrar su liderazgo para hacer posible el necesario cambio de modelo energético y ser ellas mismas motores del cambio. Las Administraciones Públicas deben impulsar ciudades energéticamente sostenibles que hagan un uso eficiente de la energía y aumenten el consumo de energía renovable. **La transición energética ocurrirá en las ciudades, o no ocurrirá.**

Las ciudades son un elemento clave en la transición energética

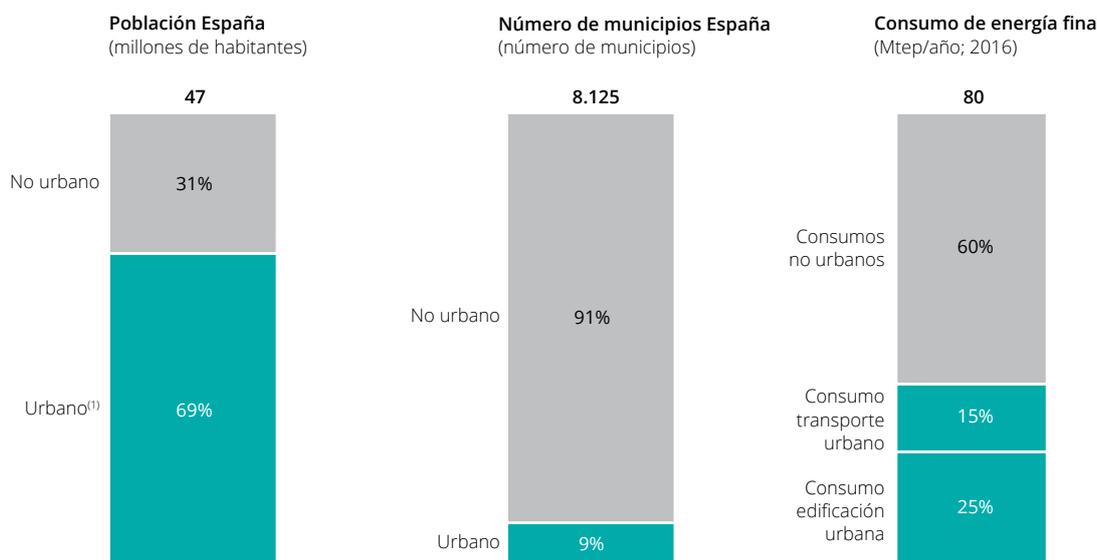
Las ciudades consumen el 40% de la energía final y están relacionadas con hasta el 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

En España, las ciudades²² concentran el 70% de la población (32 millones de personas) y agrupan aproximadamente 750 municipios, aproximadamente el 10% de los municipios del país. En ellas se consume el 40% de la energía final de toda España (32 Mtep en 2016), principalmente en dos sectores de actividad²³: edificación (~20 Mtep) y transporte rodado (~12 Mtep) (ver Cuadro 2).

En el consumo energético del sector edificación, que incluye edificios residenciales y de servicios, el vector energético predominante es la electricidad (54%), seguida del gas natural (32%) y los productos petrolíferos (13%), mientras que el transporte está ampliamente dominado por el consumo de productos petrolíferos (95% del total del consumo del sector transporte) (ver Cuadro 3).

Las emisiones GEI relacionadas con las ciudades representaron en 2016 el ~70% del total de emisiones en España (229 MtCO₂eq frente a un total de 324 MtCO₂eq), (ver Cuadro 4):

Cuadro 2: Población, municipios y consumo de energía en España



(1) Zonas que cuentan con al menos un municipio de 50.000 habitantes. Incluye todos los municipios colindantes de más de 1.000 habitantes

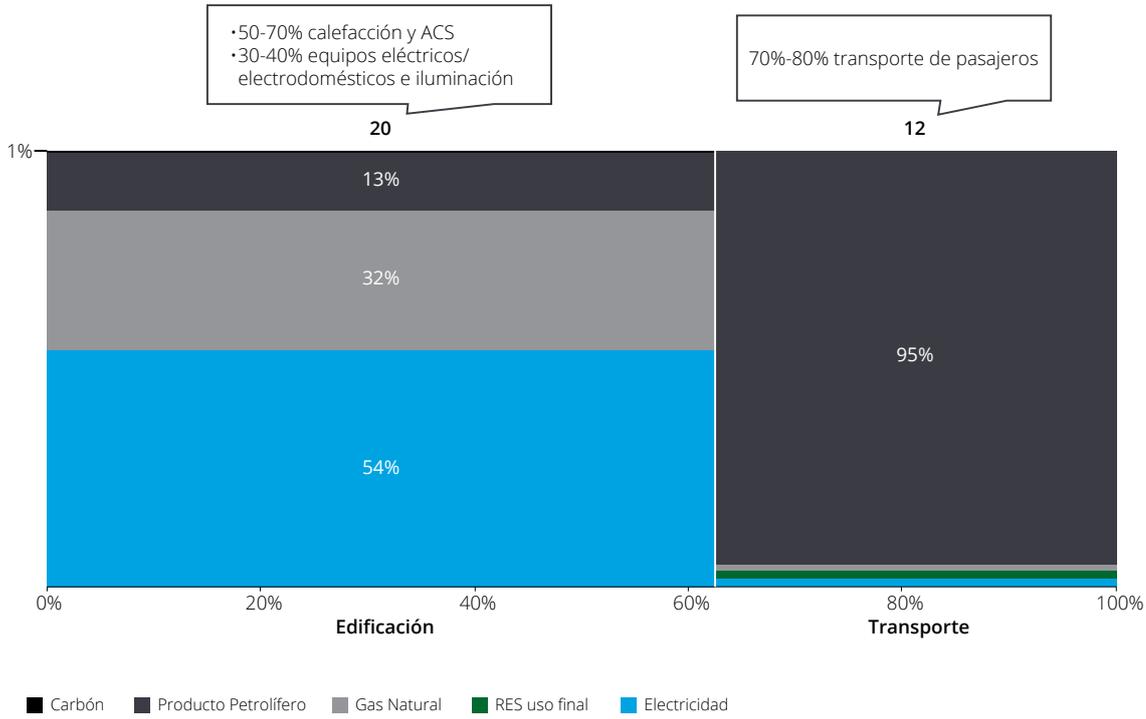
Fuente: Ministerio de Fomento; MITECO; análisis Monitor Deloitte

22 Municipios que cuentan con al menos 50.000 habitantes, incluyendo sus municipios colindantes de más de 1.000 habitantes

23 Otros sectores con consumos de energía en las ciudades, como el sector industrial, no se han considerado en este estudio debido al menor peso relativo de sus emisiones y a la menor capacidad de actuación en el ámbito municipal sobre ellos. Como ejemplo, en el año 2016 el sector industrial fue responsable del 6% del total de las emisiones GEI de la ciudad de Madrid

Cuadro 3: Consumo de energía final en las ciudades españolas por sector de actividad y vector energético

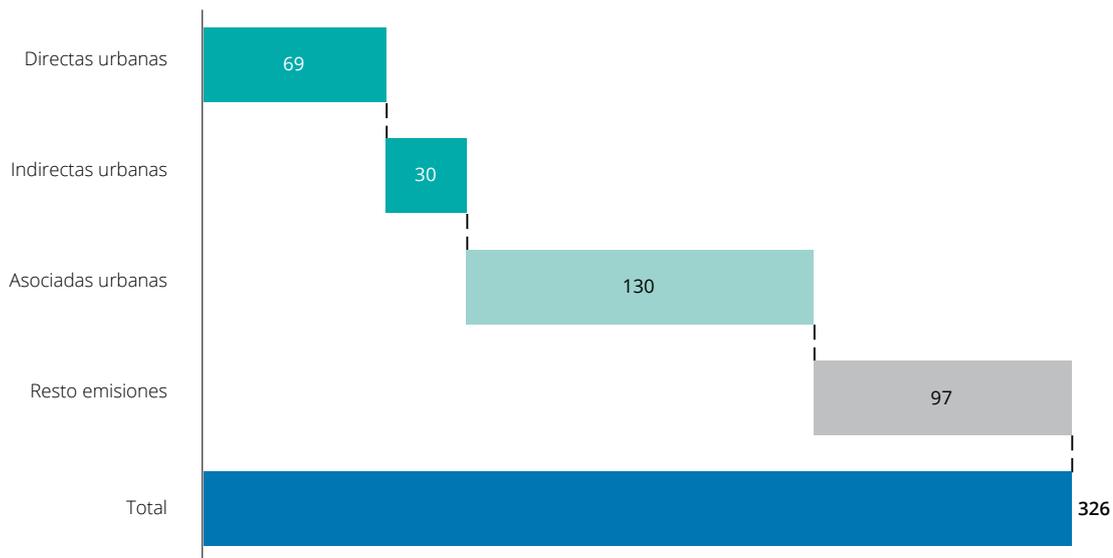
(Mtep; 2016)



Fuente: MITECO; IDAE; análisis Monitor Deloitte

Cuadro 4: Emisiones GEI en España

(MtCO₂eq; 2016)

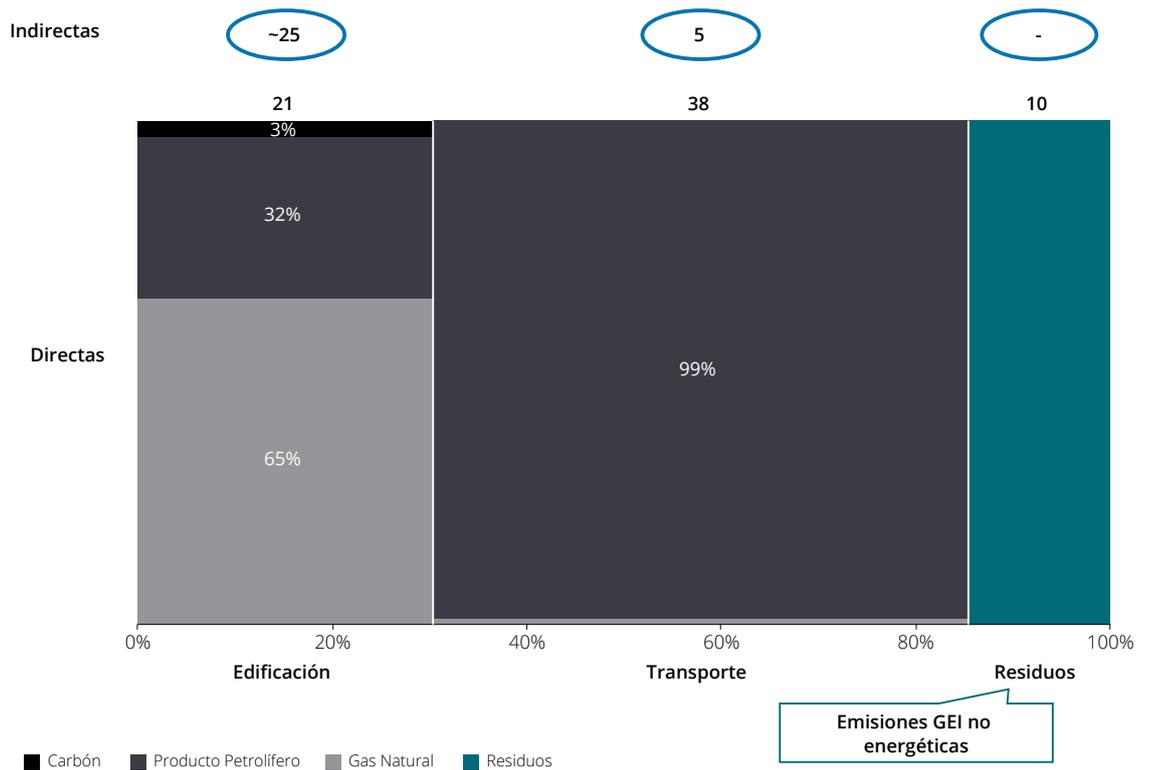


Fuente: MITECO; análisis Monitor Deloitte

- 69 MtCO₂eq (~20% del total de emisiones GEI de España) son emisiones directas generadas en las ciudades, en edificación (por ejemplo, calderas para calefacción y ACS), transporte rodado (por ejemplo, turismos) o emisiones no energéticas del sector residuos.
- 30 MtCO₂eq (~10%) son emisiones indirectas, derivadas de la generación de la electricidad o del refinado de productos petrolíferos consumidos en las ciudades.
- 130 MtCO₂eq (~40%) son emisiones asociadas (no consideradas en este estudio), producidas fuera de la ciudad, pero necesarias para producir y transportar a las ciudades los productos consumidos en las mismas. En esta categoría se incluirían emisiones del sector ganadero, agrícola e industrial asociadas con la elaboración y el transporte de estos productos.

De las emisiones GEI directas en las ciudades, los sectores de transporte y edificación son los que más peso representan sobre el total. El sector del transporte contribuyó en 38 MtCO₂eq en el año 2016, de las cuales casi la totalidad fue debido al consumo de productos petrolíferos en motores de combustión. El sector edificación emitió de manera directa 21 MtCO₂eq en las ciudades en dicho año, el 65% procedente del consumo de gas natural y el 32% del consumo de productos petrolíferos. Por último, las emisiones GEI no energéticas asociadas a los residuos generados en las ciudades (derivadas de su descomposición y tratamiento) supusieron 10 MtCO₂eq. Respecto a las emisiones indirectas, la edificación contribuyó a la emisión de ~25 MtCO₂eq, mientras que el transporte emitió 5 MtCO₂eq en el año 2016 (ver Cuadro 5).

Cuadro 5: Emisiones GEI en las ciudades por sector de actividad y vector energético
(MtCO₂eq; 2016)



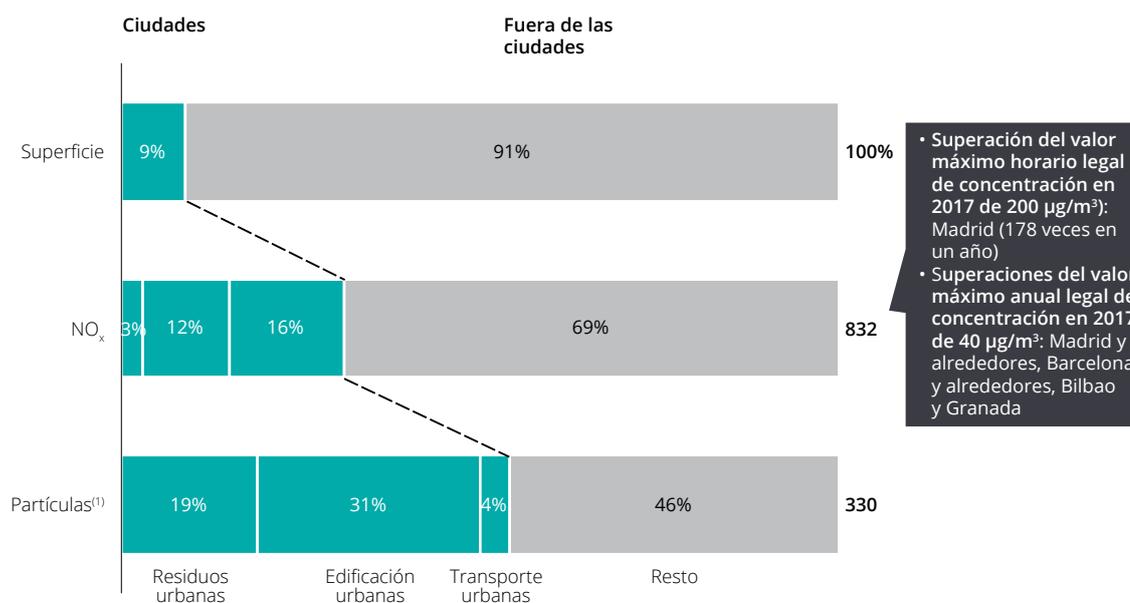
Fuente: MITECO; análisis Monitor Deloitte

Las emisiones de elementos contaminantes relacionadas con la calidad del aire, tales como partículas, NO_x o SO_x, están también estrechamente relacionadas con la actividad en las ciudades. La superficie que ocupan éstas equivale a menos del 10% de la superficie total en España, pero concentra el 30% de las emisiones de NO_x y el 55% de las de partículas que se emitieron en 2016. Estas emisiones, unidas a otros factores como los climatológicos o las emisiones de origen natural, hacen que la concentración de estos elementos contaminantes haya sobrepasado los límites legales en algunas ciudades españolas (por ejemplo, la concentración de NO_x en las ciudades de Madrid o Barcelona durante al año 2017), con el consiguiente riesgo para la salud de sus habitantes (ver Cuadro 6). Está ampliamente demostrada la relación entre la exposición a altas concentraciones de estos contaminantes y problemas respiratorios, tales como asma o alergias, cardiopulmonares e incluso con la muerte prematura.

La concentración de elementos contaminantes ha sobrepasado los límites legales en algunas ciudades españolas, con el consiguiente riesgo para la salud de sus habitantes

Esta problemática se intensifica por el creciente incremento de la población y de la actividad económica en torno a las ciudades (en el periodo 2001-2016 las zonas urbanas crecieron en 5,4 millones de habitantes, unas 20 veces más que las zonas no urbanas, las cuales incrementaron su población en 0,3 millones en el mismo periodo). Esta presión incrementa la necesidad de continuar impulsar la transición energética en las ciudades, cada vez con mayor intensidad y velocidad.

Cuadro 6: Superficie y emisiones directas de elementos contaminantes
(%, kt; 2016)



(1) Incluye partículas PM2,5 y PM10

(Nota: Nota: No se incluye emisiones de SO₂ al no haberse superado en los últimos 6 años en ninguna ocasión los niveles legislados

Fuente: Evaluación de la calidad del aire en España (MITECO); análisis Monitor Deloitte

Las ciudades se han comprometido a ambiciosos objetivos de mejora de su sostenibilidad energética

La Unión Europea sigue firme en su estrategia de liderar la lucha contra el cambio climático a nivel global y alcanzar la neutralidad tecnológica en 2050, incrementando la firmeza y la ambición en los diferentes objetivos de descarbonización. Los objetivos de energías renovables (porcentaje de energía renovable sobre el total de la energía final consumida) y de eficiencia energética (reducción de consumo de energía primaria y final sobre un tendencial) para el año 2030 se han fijado recientemente en el 32% y el 32,5%, respectivamente, frente a los objetivos establecidos anteriormente, del 27% en ambos casos. Asimismo, la UE continúa el desarrollo de medidas que permitan alcanzar estos objetivos medioambientales, tales como la obligatoriedad de reducir las emisiones de los vehículos ligeros y pesados, el impulso de la infraestructura de carga de combustibles alternativos, o las estrategias de renovación de edificios que permitan tener un parque descarbonizado y eficiente en el largo plazo²⁴.

Entre las actuaciones desarrolladas por la Comisión Europea destaca el Pacto de los Alcaldes, nacido en 2008, cuyo objetivo es acelerar el proceso de transición energética en las ciudades y conseguir que sus habitantes disfruten de un acceso a una energía segura, sostenible y asequible. Este Pacto ha supuesto un referente en la colaboración en materia de sostenibilidad energética urbana, al que se han sumado ya más de 7.000 municipios (incluyendo las

principales ciudades españolas) de 57 países en los que viven más de 250 millones de habitantes. Los municipios firmantes del pacto se comprometen a reducir las emisiones de CO₂ al menos un 40% en 2030²⁵ y estar libres de emisiones en el año 2050.

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima y el anteproyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética (presentados en febrero de 2019) aspiran a reducir las emisiones en España en 2030 por debajo de 230 MtCO₂eq, lo que supone una reducción del ~30% respecto a las emisiones de 2016 de 326 MtCO₂eq. Plantear para las ciudades una reducción de emisiones superior, 40% a 2030, se justifica debido a:

- Las tecnologías necesarias para mejorar la sostenibilidad energética de las ciudades están ya disponibles y tienen una madurez técnica y comercial suficiente para su adopción (sin perjuicio de que algunas de ellas requieran apoyos normativos y superar alguna barrera existente).
- Las ciudades cuentan con una mayor capacidad para influir sobre los hábitos de ciudadanos y empresas, debido a la concentración de la actividad y a la homogeneidad de la mayoría de los consumos.
- La reducción de emisiones GEI lleva aparejada un descenso en las emisiones de elementos contaminantes. Esta reducción mejorará la calidad del aire en las ciudades, que representa uno de los grandes problemas en la actualidad y es una obligación si se quiere mejorar la calidad de vida y la salud de sus habitantes.



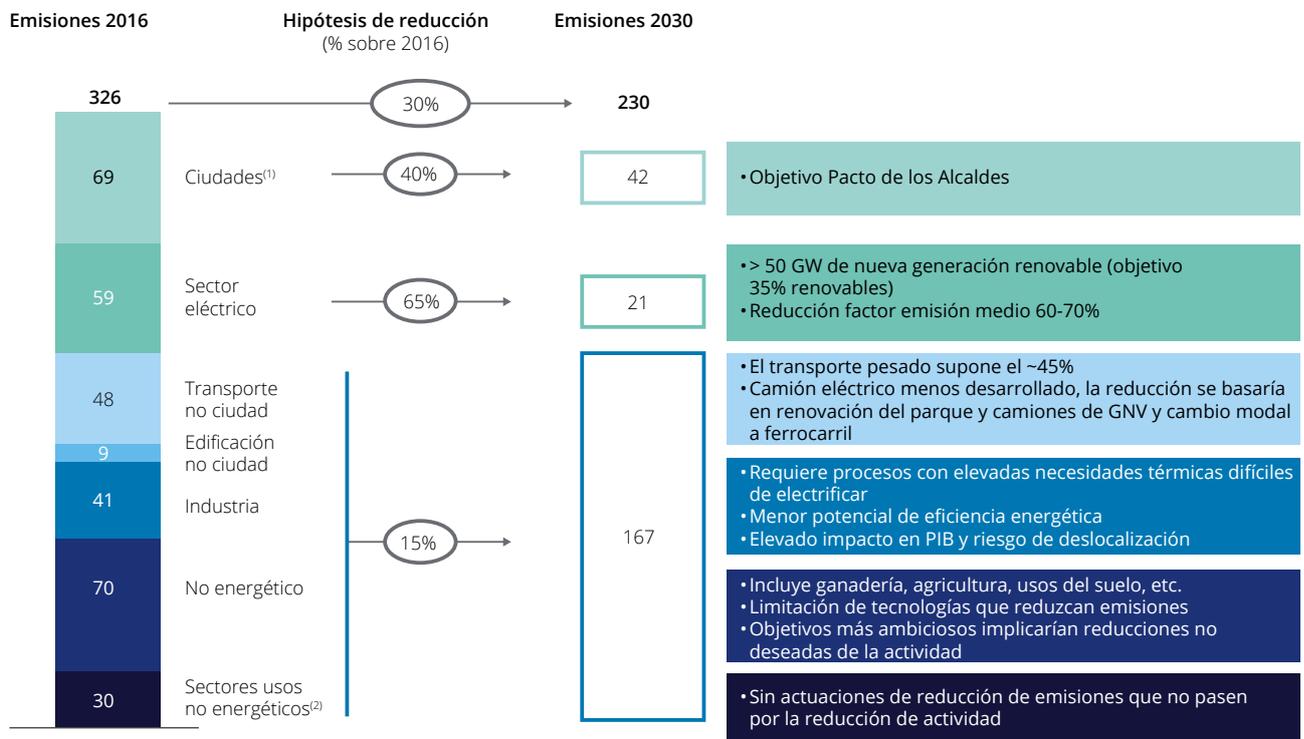
²⁴ Estrategia indicada en la Directiva 2918/844, por la que se modifica las anteriores directivas de eficiencia energética y eficiencia energética en edificios, para cumplir con el objetivo a largo plazo de 2050 de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión en un 80-95% en comparación con 1990

²⁵ Las ciudades están usando como referencia el primer año que tienen disponible un inventario o medición de sus emisiones

- Existen sectores que presentan mayores barreras para reducir sus emisiones. El transporte pesado cuenta con tecnologías sostenibles menos desarrolladas, como, por ejemplo, el camión eléctrico. En el sector industrial existen muchos de procesos productivos con altas necesidades térmicas, que actualmente no son viables sin combustibles fósiles. O los sectores no energéticos (agricultura, ganadería, usos del suelo, etc.), para los cuales todavía no hay caminos de reducción de emisiones que no pasen, entre otras alternativas, por una disminución de su actividad. (ver Cuadro 7).

Debido a todo lo anterior, este estudio toma como referencia el objetivo de reducción del 40% a 2030²⁶, tanto para el conjunto de las ciudades españolas, como para el análisis individual de cada una de ellas. Asimismo, al no existir un año de referencia homogéneo entre ciudades, este estudio asume el año 2016 como año base. Esto supone que las actuales ~100 MtCO₂eq de emisiones directas e indirectas de las ciudades españolas tendrán que pasar a 60 MtCO₂eq en 2030 y a 0 en 2050 (ver Cuadro 8).

Cuadro 7: Reducción de emisiones GEI por sector
(MtCO₂eq)



(1) Emisiones directas del sector residencial, servicios y residuos

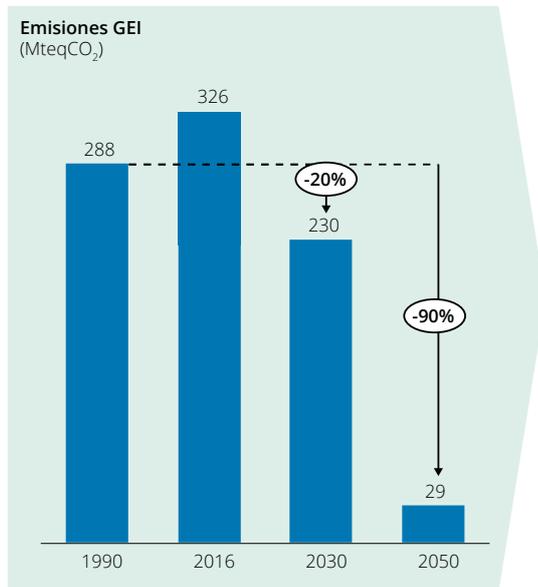
(2) Incluye emisiones fugitivas de combustibles, procesos industriales y uso de productos, refino, manufacturación de combustibles fósiles y otras industrias energéticas

Fuente: MITECO; Análisis Monitor Deloitte

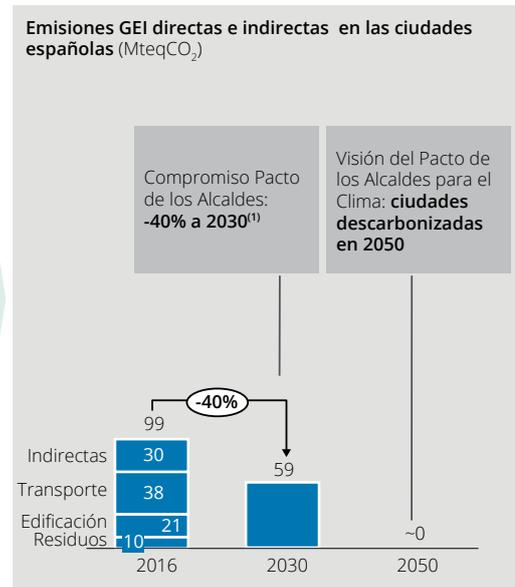
Las tecnologías necesarias para mejorar la sostenibilidad energética de las ciudades están ya disponibles y tienen una madurez técnica y comercial suficiente para su adopción

Cuadro 8: Objetivos medioambientales y de emisiones

Objetivos medioambientales para España



Potenciales objetivos emisiones GEI para las ciudades



(1) No existe homogeneidad en el año de referencia utilizado para el objetivo de reducción del 40%. La gran mayoría de las ciudades españolas han firmado dicho pacto, por ejemplo, Madrid, Barcelona, Valencia, Málaga, Sevilla, Zaragoza, Bilbao, Murcia, Vitoria, etc.

Fuente: MAPAMA; análisis Monitor Deloitte

En lo que respecta a la calidad del aire, la UE también ha impulsado diferentes medidas en favor de su mejora en las ciudades europeas. Entre ellas cabe destacar la Directiva 2008/50, que estableció límites máximos de concentración para los diferentes elementos contaminantes, así como los criterios de medición y evaluación. Posteriormente la Directiva 2016/2284 definió, entre otras medidas, los objetivos nacionales de reducción de emisiones de elementos contaminantes para los diferentes Estados Miembro. Para España, se aprobó el objetivo de reducir las emisiones a 2030, un 88% para el SO₂, un 62% para el NO_x y un 50% para PM_{2,5}, respecto a los valores de 2005. En el año 2016, las emisiones de estos elementos contaminantes se habían reducido un 82%, un 44% y un 18%, respectivamente.

Reducir las emisiones GEI y de elementos contaminantes debe ser una prioridad para las diferentes Administraciones Públicas. Las ciudades tienen el compromiso, las posibilidades técnicas y la necesidad de contribuir a esta reducción.

Para conseguirlo, se deben impulsar los 3 pilares fundamentales de la transición energética:

- La mejora de la **eficiencia energética** en el consumo de la energía (rehabilitación de edificios, uso de sistemas inteligentes de control de climatización, sustitución por equipos más eficientes como las calderas de gas natural de condensación o nuevos vehículos más eficientes).
- **El uso de tecnologías que permitan sustituir el consumo de combustibles contaminantes por vectores energéticos menos emisores y menos contaminantes** (vehículo eléctrico, bomba de calor, entre otros).
- La **generación eléctrica sin emisiones**, que permita reducir las emisiones indirectas generadas por la ciudad.

La evolución natural de las ciudades no es suficiente para alcanzar los objetivos de emisiones y de calidad del aire

Para analizar las ciudades españolas se han definido cuatro arquetipos diferentes

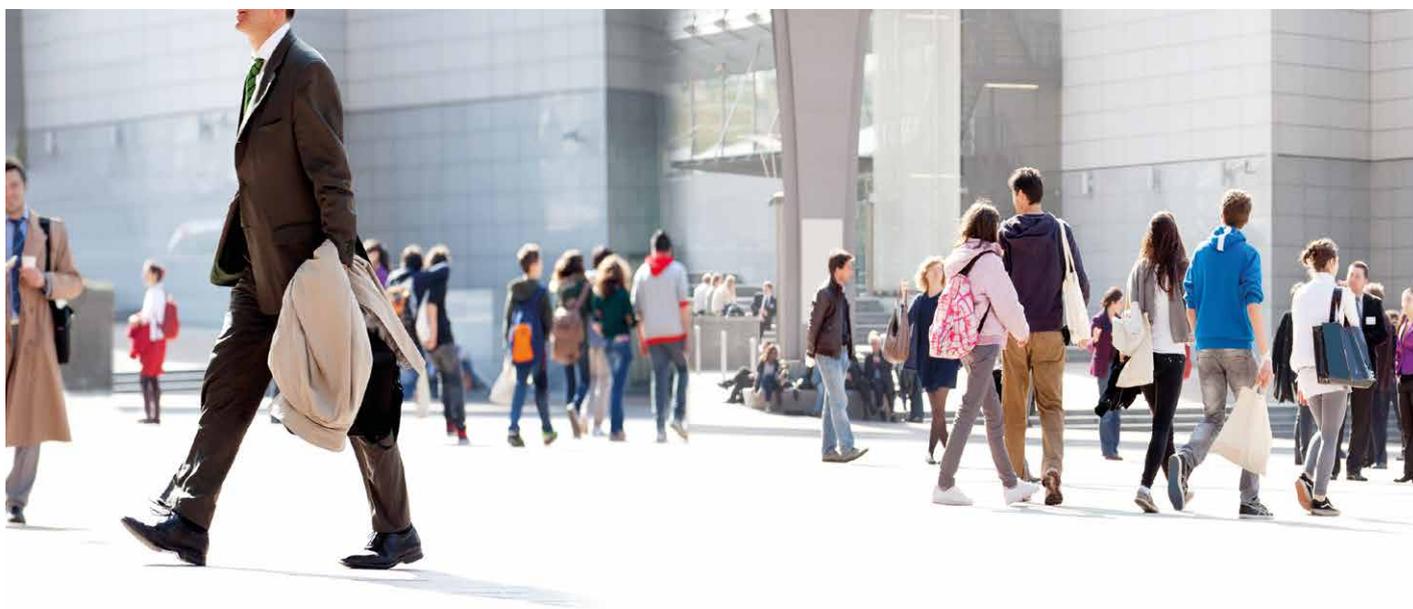
El análisis de los consumos energéticos y las emisiones GEI de las ciudades españolas se ha realizado a través de una selección de siete ciudades representativas, que refleja las diferentes variables con impacto en el consumo de energía, las emisiones GEI y la calidad del aire: el clima (climas fríos como el atlántico o el continental y clima templado como el mediterráneo) y el tamaño de ciudad (ciudades grandes con más de 1 millón de habitantes en el municipio principal y medias con menos de 1 millón). Las ciudades seleccionadas son A Coruña, Barcelona, Málaga, Madrid, Sevilla, Vitoria y Zaragoza. En ellas viven en torno a 7 millones de habitantes, mientras que, si se considera también la población de sus áreas metropolitanas, los habitantes ascienden a 15 millones, lo que representa, respectivamente, el 20% y el 50% de la población urbana total en España (32 millones) (ver Cuadro 9).

Cuadro 9: Población en zonas urbanas por zona climática y tamaño (millones de habitantes)

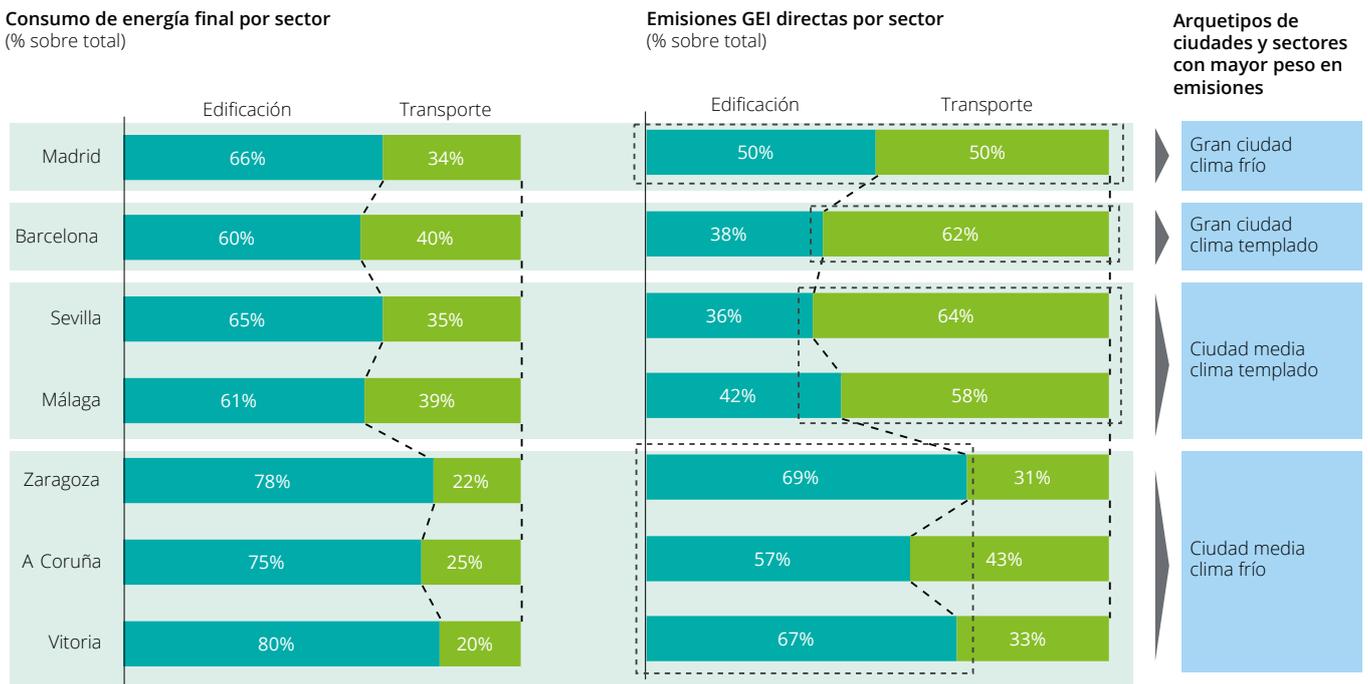


Nota: Ciudad grande >1 millón de habitantes, Ciudad media <1 millón

Fuente: Ministerio de Fomento, Análisis Monitor Deloitte



Cuadro 10: Consumo y emisiones por sectores en las ciudades seleccionadas y agrupación por arquetipos



Fuente: IDAE; INE; Catastro; Observatorio de Movilidad; Análisis Monitor Deloitte

De acuerdo con su consumo de energía y emisiones GEI directas del sector transporte y edificación, estas ciudades se pueden agrupar en torno a cuatro arquetipos (ver Cuadro 10):

- **Ciudad grande de clima frío:** en estas ciudades pesan de una manera similar las emisiones del sector edificación (50%) y del transporte (50%), debido a que el clima frío requiere un elevado consumo de calefacción, y al mayor número de trayectos por habitante, por el peso de los desplazamientos de sus habitantes entre el municipio principal y el resto del área metropolitana.
- **Ciudad grande de clima templado:** en estas ciudades las emisiones del sector transporte (62%) son superiores a las del sector de la edificación (38%), debido al peso de los trayectos entre la ciudad y la zona metropolitana y a la menor necesidad de calefacción.
- **Ciudad media de clima frío:** en estas ciudades el peso del sector edificación (57-69%) es muy superior al del transporte, debido a las mayores necesidades de calefacción y a las menores necesidades de transporte motorizado dentro de la propia ciudad.
- **Ciudad media de clima templado :** en estas ciudades, el peso de las emisiones del sector transporte (58-64%) es muy superior al de la edificación debido fundamentalmente a las menores necesidades de calefacción.

Las ciudades españolas ya están desarrollando medidas para mejorar la sostenibilidad energética

Las Administraciones Públicas (a los diferentes niveles) no son ajenas a la necesidad de impulsar la sostenibilidad energética en las ciudades. A nivel nacional, se ha publicado recientemente (febrero de 2019) la Agenda Urbana Española (AUE) que plantea la estrategia a seguir en las políticas de desarrollo urbano sostenible. Esta estrategia de desarrollo urbano se compone de 30 objetivos específicos y 291 líneas de actuación, poniéndolas a disposición de los municipios para que puedan elaborar sus propios Planes de acción.

A nivel local, las ciudades han venido desarrollando diferentes iniciativas de sostenibilidad energética urbana. Algunas de las más representativas, que pueden considerarse mejores prácticas, podrían ser:

- Madrid elabora periódicamente un inventario de consumo de energía y de emisiones, elaborado a partir de las directrices de la Agencia Europea de Medio Ambiente. Este inventario sirve de base para realizar análisis de detalle de actuaciones a realizar en la ciudad y evaluar la eficacia de las medidas ya implantadas.
- En Barcelona es reseñable el rol ejemplarizante de la Administración Municipal a través del transporte público: de los cerca de 1.100 autobuses de los que dispone, cuenta con 400 de gas natural, 200 híbridos



y 500 convencionales, así como con una línea con autobuses eléctricos en fase de implantación (con más de 10 vehículos de este tipo).

- En Zaragoza están haciendo relevantes esfuerzos en el sector edificación. En edificios existentes, por ejemplo, se han destinado ayudas a la rehabilitación con criterios de sostenibilidad energética a más de 3.500 edificios con antigüedad superior a 40 años, incluyendo la sustitución de calderas de carbón para calefacción por otros combustibles más sostenibles. En nueva edificación, se han construido 10.000 viviendas con criterios bioclimáticos en la eco-ciudad de Valdespartera, consiguiendo un ahorro en el consumo energético de estos edificios de hasta un 90%.
- Vitoria destaca especialmente por su impulso del transporte no motorizado, que ha pasado de suponer un 52% de los trayectos en 2006 al 65% en 2016. Esto se debe, entre otros factores, al impulso del Plan de Movilidad Sostenible desarrollado por el ayuntamiento en 2006 y dotado de 60 millones de euros de inversión, y que incluía actuaciones como: restricciones a la circulación de vehículos por el centro de la ciudad, construcción de aparcamientos disuasorios a la entrada de la ciudad o construcción de carriles bici en vías urbanas principales.
- Sevilla ha impulsado el transporte en bicicleta (es la ciudad analizada con una mayor cuota modal en este medio de transporte). Para ello, ha llevado a

cabo medidas como el incremento del número de plazas de aparcamiento de bicicleta en un 10% y la activación de un plan de mantenimiento, mejora y señalización del carril-bici. Adicionalmente, cuenta con un plan estratégico de impulso de la bicicleta a 2020, que persigue alcanzar un reparto modal de hasta el 15% mediante el incremento de la disponibilidad de carril bici o aparcamientos en puntos clave, para fomentar la intermodalidad bicicleta-transporte público.

- Por último, en Málaga es reseñable el fomento de la movilidad sostenible. El proyecto Zem2All desplegó 200 vehículos eléctricos y 240 puntos de carga, con el objetivo de entender el funcionamiento y la aceptación de este tipo de movilidad por parte de los usuarios. Tras 4 años de funcionamiento, se han recorrido ~5 millones de kilómetros evitando la emisión de más de 700 tCO₂.

A pesar de los esfuerzos se necesitan medidas adicionales; al ritmo actual no se conseguirán los objetivos

El incremento de la actividad económica y la población en las ciudades (especialmente en las ciudades grandes) impulsarán el crecimiento de las emisiones GEI y la contaminación urbana un 15-20% hasta el año 2030. Este crecimiento viene derivado especialmente del incremento de las necesidades de movilidad y la actividad en el sector servicios, y se verá compensado por dos efectos de reducción de emisiones:

- **La renovación natural de equipos** (por ejemplo, los turismos tienen una vida útil de 13-18 años de media, las calderas de 15-20 años, los electrodomésticos de 10-15 años, etc.). Debido al desarrollo tecnológico y a la regulación, como la normativa de reducción de emisiones de los vehículos o la limitación a la comercialización de calderas no eficientes, los usuarios deben reemplazar sus equipos antiguos por otros más eficientes y menos contaminantes que los que llegan al final de su vida útil:

- Un vehículo convencional nuevo puede emitir un 30% menos de GEI, y hasta un 90% menos de NO_x, que un vehículo con 15 años de antigüedad.
- Una caldera de condensación nueva consume un 15-30% menos que una antigua con tecnología

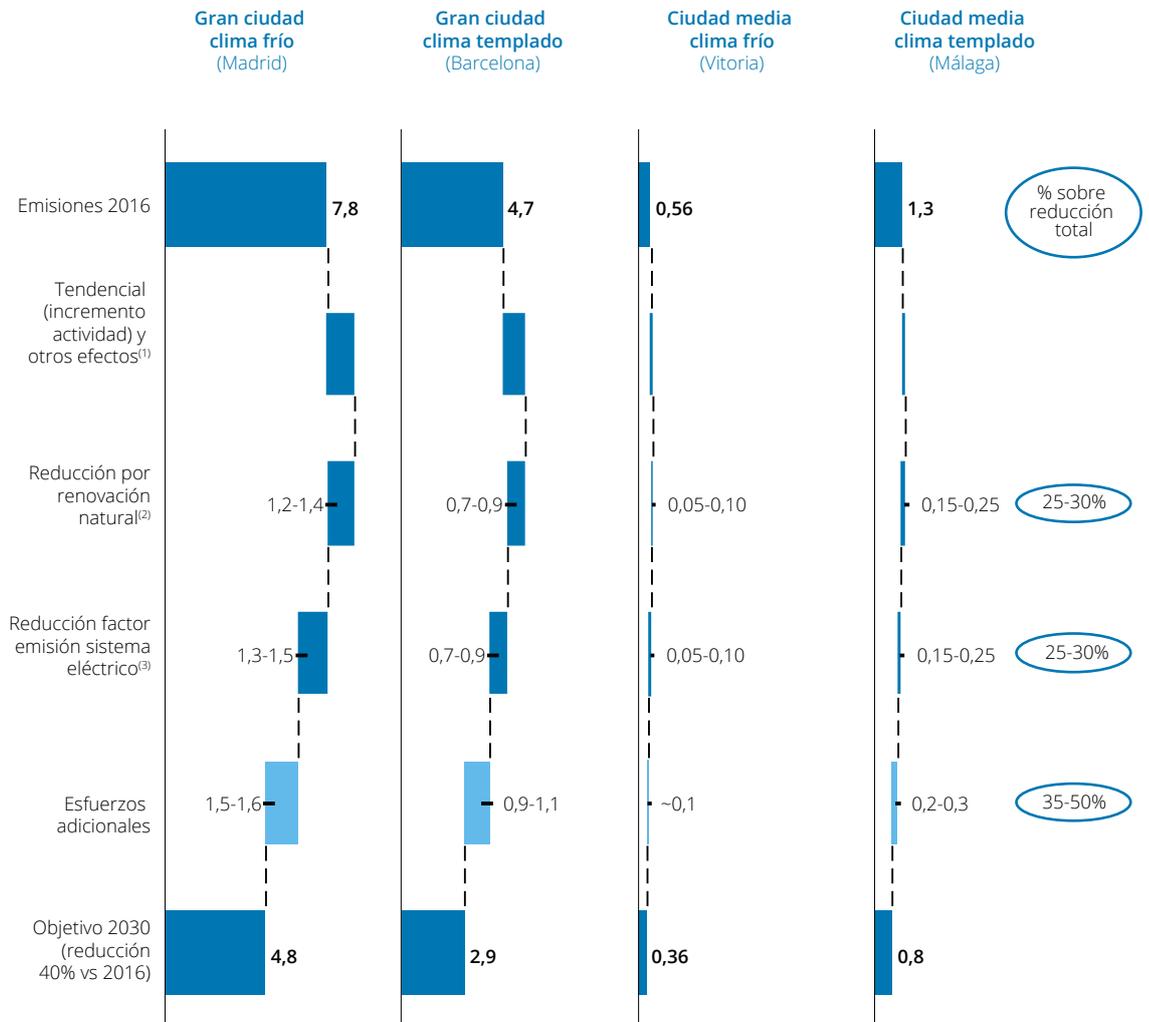
convencional (calderas convencionales de gas natural o de producto petrolífero).

- Un electrodoméstico nuevo A++ consume un 40% menos de energía que uno de 10 años con tecnología A.

Debido a esta renovación natural, de aquí al año 2030, el 70-80% de la flota de turismos, el 60-80% de las calderas y el 90% de los electrodomésticos, deberían estar renovados.

- La **reducción de emisiones** indirectas que provienen de la generación de la electricidad que se consume en las ciudades, debida a la reducción del factor de emisión medio del mix eléctrico un 60-70%,

Cuadro 11: Emisiones GEI directas e indirectas a 2030
(MtCO₂eq/año)



(1) En otros efectos se incluye una reducción del 15% de las emisiones generadas por el sector residuos, en línea con la reducción de los sectores no energéticos
 (2) Incluye renovación de equipos térmicos (cada 15-20 años) y eléctricos en edificación (cada 10-15 años), renovación de vehículos convencionales (cada 13-18 años)
 (3) Considera una reducción del 60-70% del factor de emisión del sistema eléctrico

Fuente: análisis Monitor Deloitte

gracias a la instalación de más de 50 GW de nueva potencia renovable en el parque de generación hasta el año 2030.

Estas actuaciones no permitirán a las ciudades españolas alcanzar el objetivo planteado de reducir un 40% las emisiones GEI a 2030, tal y como establece el Pacto de los Alcaldes, ni preparan a las mismas en la senda adecuada para alcanzar el objetivo de cero emisiones GEI en el año 2050. Para cumplir los objetivos al año 2030 es necesario realizar un esfuerzo adicional y requerirá importantes cambios en el modelo energético urbano (ver Cuadro 11).

En lo que respecta a la calidad del aire, algunas ciudades españolas han superado reiteradamente los límites legales de concentración de elementos contaminantes (especialmente NO_x). Esta situación obliga a desarrollar actuaciones de sostenibilidad

energética urbana en el muy corto plazo en el sector del transporte rodado (este sector es el principal causante de la concentración de NO_x en las ciudades²⁷), ya que la velocidad actual de renovación de la flota de vehículos no es suficiente para mejorar de manera inmediata la calidad del aire hasta límites aceptables.

Se ha identificado y analizado un conjunto de actuaciones de sostenibilidad energética urbana, cuyo desarrollo permitirá esta necesaria reducción adicional de emisiones GEI, así como de elementos contaminantes, lo que también mejorará la calidad del aire de las ciudades (ver Cuadro 12):

- En el **sector transporte** se ha considerado el cambio modal hacia medios de transporte más eficientes y menos contaminantes (por ejemplo, transporte público, bicicleta o caminar), el desarrollo de una movilidad más inteligente (por ejemplo,

Cuadro 12: Actuaciones de sostenibilidad energética analizadas

 Transporte	Cambio modal	<ul style="list-style-type: none"> • Modos no contaminantes (caminar, bici, patinete, etc.) • Transporte público (metro, autobús, tren) • Nuevos modelos de movilidad (carpooling y carsahring) • Transporte bajo demanda • Fomento vehículo eléctrico • Desincentivar la circulación de los vehículos más antiguos y contaminantes • Furgoneta eléctrica/bajas emisiones • Autobús eléctrico/bajas emisiones • Optimización del urbanismo de la ciudad • Flexibilización horarios de trabajo / teletrabajo
	Movilidad inteligente	
	Vehículos menos contaminantes	
	Reducción demanda movilidad	
 Residencial	Mejora del uso	<ul style="list-style-type: none"> • Implantación de sistemas de control de calefacción • Cambio de equipo por bomba de calor • Cambio de equipo por caldera de condensación (y mantenimiento del equipo) • Sustitución ventanas y cerramientos • Mejora aislamiento fachada • Mejora aislamiento cubierta • Renovación de electrodomésticos e iluminación • Autoconsumo
	Cambio de equipos térmicos	
	Rehabilitación	
	Sustitución de equipos	
	Autoconsumo	
 Servicios	Mejora del uso	<ul style="list-style-type: none"> • Implantación de sistemas de control de climatización • Implantación de sistemas de control inteligente de iluminación • Renovación de equipos eléctricos e iluminación • Cambio de equipo por bomba de calor • Cambio de equipo por caldera de condensación (y mantenimiento del equipo) • Mejora de la eficiencia de equipo térmico mediante equipo complementario • Sustitución ventanas y cerramientos • Mejora aislamiento de la fachada • Mejora aislamiento de la cubierta • Autoconsumo • Otras actuaciones (puertas automáticas, cortinas térmicas, etc.)
	Cambio de equipos térmicos	
	Rehabilitación	
	Sustitución de equipos	
	Autoconsumo	
 Consumos municipales	Mejora de la iluminación	<ul style="list-style-type: none"> • Renovación de equipos de iluminación a LED • Implantación de sistemas de control inteligente de iluminación • Renovación de flota municipal por vehículos eléctricos y sistemas de recarga
	Flota municipal	

27 El 60-80% de la concentración media anual de NO_x derivada de fuentes locales (generadas en el propio municipio) es debida al tráfico rodado. Fuente: Inventario Nacional de Emisiones a la Atmosfera (MITECO)

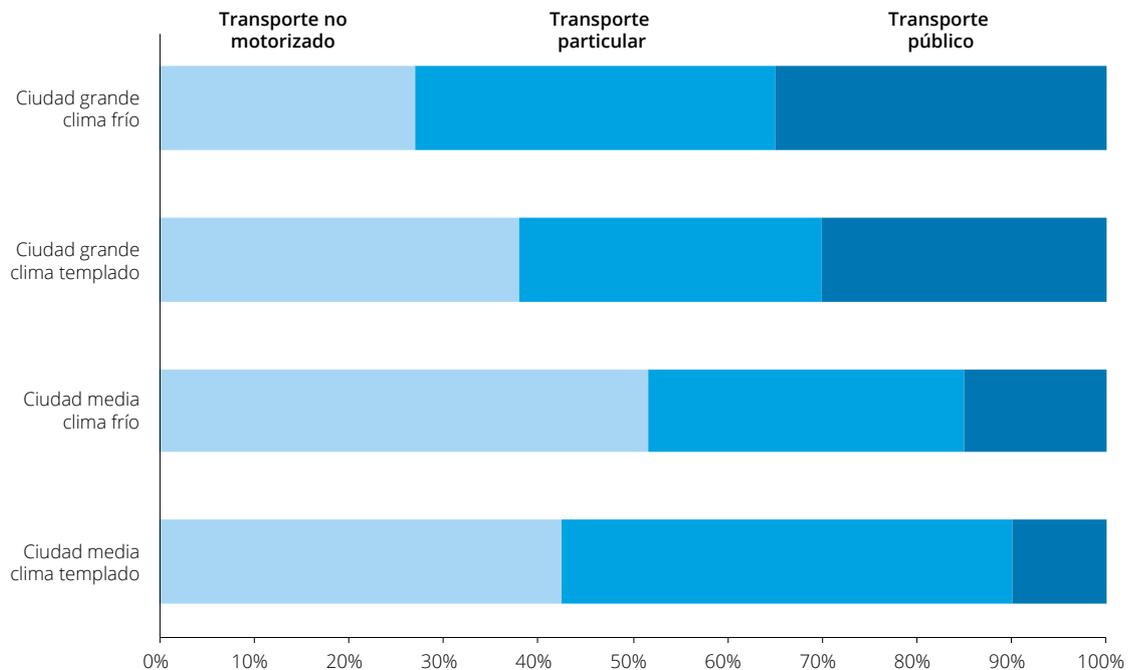
nuevos modelos como carsharing o carpooling), la renovación del parque de turismos (por vehículos eléctricos y convencionales nuevos más eficientes) y medidas para reducir o desplazar la demanda de movilidad (por ejemplo, mediante la flexibilización de los horarios laborales o el teletrabajo).

- En el **sector residencial** se ha analizado la mejora del uso de la energía (por ejemplo, sistemas de control de calefacción), el cambio a equipos térmicos eficientes (por ejemplo, el cambio a bombas de calor o la sustitución anticipada de calderas térmicas por calderas de condensación de gas natural), la rehabilitación de edificios, la renovación de electrodomésticos a equipos más eficientes (A+++ y el desarrollo de autoconsumo).
- En el **sector servicios** se ha considerado la mejora del uso de la energía (por ejemplo, mediante sistemas inteligentes de control de iluminación o climatización), el cambio a equipos de climatización eficientes (sistemas con bombas de calor), la rehabilitación de edificios, la sustitución de equipos eléctricos por otros más eficientes (por ejemplo, iluminación led) y el autoconsumo.
- En los **consumos municipales** (consumo de energía responsabilidad del municipio, como el

consumo de electricidad para iluminación pública o de combustibles para flotas municipales) se ha identificado la mejora de la iluminación pública (renovación de equipos y sistemas de control inteligente de la iluminación) y la sustitución de vehículos de flota municipal por otros más sostenibles (vehículo cero emisiones, con criterio de ejemplaridad).

El tipo de actuaciones y su intensidad (es decir, su grado de penetración) en cada uno de los arquetipos de ciudad depende de diversos factores: tamaño, clima, orografía, aspectos económicos, culturales, etc. En este estudio se ha asumido, como criterio de partida, que cada sector contribuye a la reducción de emisiones adicionales en proporción a su peso en las emisiones actuales. Es decir, si el sector transporte es el responsable del 60% de las emisiones directas actuales de la ciudad, se ha considerado que la reducción adicional de las actuaciones en el sector transporte en dicha ciudad abata aproximadamente el 60% de las emisiones adicionales. Adicionalmente, se han considerado otros factores relevantes para la estimación de la penetración de las diferentes actuaciones, tales como aspectos económicos para reducir los costes de abatimiento o las inversiones necesarias.

Cuadro 13: Reparto modal actual en las ciudades⁽¹⁾
(% de trayectos; 2016)



(1) Incluye la ciudad y el área metropolitana

Fuente: Consorcio Transportes Comunidad de Madrid; Área Metropolitana de Barcelona; Plan de Movilidad Urbana Sostenible de Málaga; Plan Movilidad Urbana Sostenible de Zaragoza; Plan Movilidad Urbana Sostenible A Coruña; Encuesta Movilidad Vitoria-Gasteiz; Observatorio de Movilidad Metropolitana; análisis Monitor Deloitte

Transporte: reducir el uso del vehículo particular y acelerar la adopción de vehículos menos contaminantes

En las ciudades, el transporte de pasajeros genera el 70-80% del consumo de energía y emisiones de este sector; debido a esto es el foco principal de las actuaciones. El transporte de pasajeros está muy condicionado por el tamaño de la ciudad y de su área metropolitana, cuyos habitantes se desplazan por motivo de actividades que realizan a diario, por ejemplo, estudios o trabajo (lo que se conoce como movilidad “obligada”) y de otras actividades como ocio, compras o asuntos personales (lo que se conoce como movilidad “no-obligada”).

Si se analiza el reparto modal en las áreas metropolitanas²⁸ (porcentaje de los trayectos totales realizados en cada uno de los modos de transporte principales, ver Cuadro 13) en los diferentes arquetipos de ciudad, se puede determinar que:

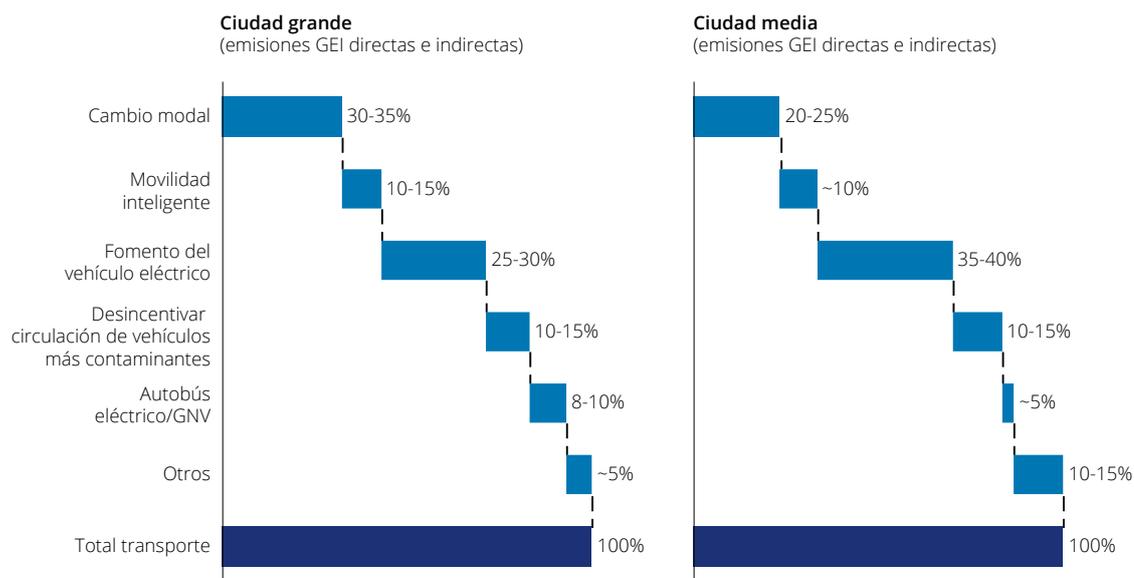
- En las grandes ciudades existe una menor penetración de **modos de transporte no motorizados** en comparación con las ciudades medias (30% en grandes ciudades frente a 45-50% en las medias), debido principalmente a la mayor distancia media de los desplazamientos, lo que incrementa la necesidad de recurrir a medios motorizados para desplazarse.
- El principal factor que determina la utilización del **transporte público**, es la dificultad para usar el

vehículo particular, que es el modo de transporte con el que “compite” en las ciudades. En las grandes ciudades existe, en general, un mayor nivel de congestión y una mayor dificultad para estacionar el vehículo privado, lo que dificulta este transporte en vehículo particular y genera que el transporte público tenga una penetración del 30-35%, frente al 10-15% en ciudades medias (medido como reparto modal).

- El transporte en un **vehículo particular** resulta, en la mayoría de los casos, un desplazamiento más cómodo y conveniente para el usuario, si no existe ningún factor que lo impida o dificulte (congestiones, dificultad o coste de estacionamiento, restricciones a la circulación, etc.). Esto implica que suele ser el medio de transporte motorizado preferido cuando el usuario dispone de un vehículo en propiedad y tiene la posibilidad de usarlo, particularmente en los trayectos obligados. En ciudades medias el transporte en vehículo particular tiene un peso de hasta el 50%, mientras que en las grandes ciudades este porcentaje es del 30-35%.

Para priorizar la penetración de actuaciones en el sector transporte se ha tenido en consideración la reducción de emisiones GEI de cada una de ellas, las congestiones de la ciudad, la liberación del espacio público y la mejora de la calidad del aire. En este sentido, las actuaciones prioritarias serían el cambio modal, la movilidad inteligente, la renovación del parque de turismos (por vehículos eléctricos y convencionales nuevos más eficientes) (ver Cuadro 14).

Cuadro 14: Reducción de emisiones en el sector transporte por tipo de actuación



(1) Incluye cashraring, carpooling y transporte bajo demanda
 (2) Incluye mejora del urbanismo, teletrabajo, furgoneta eléctrica y turismos de GNV

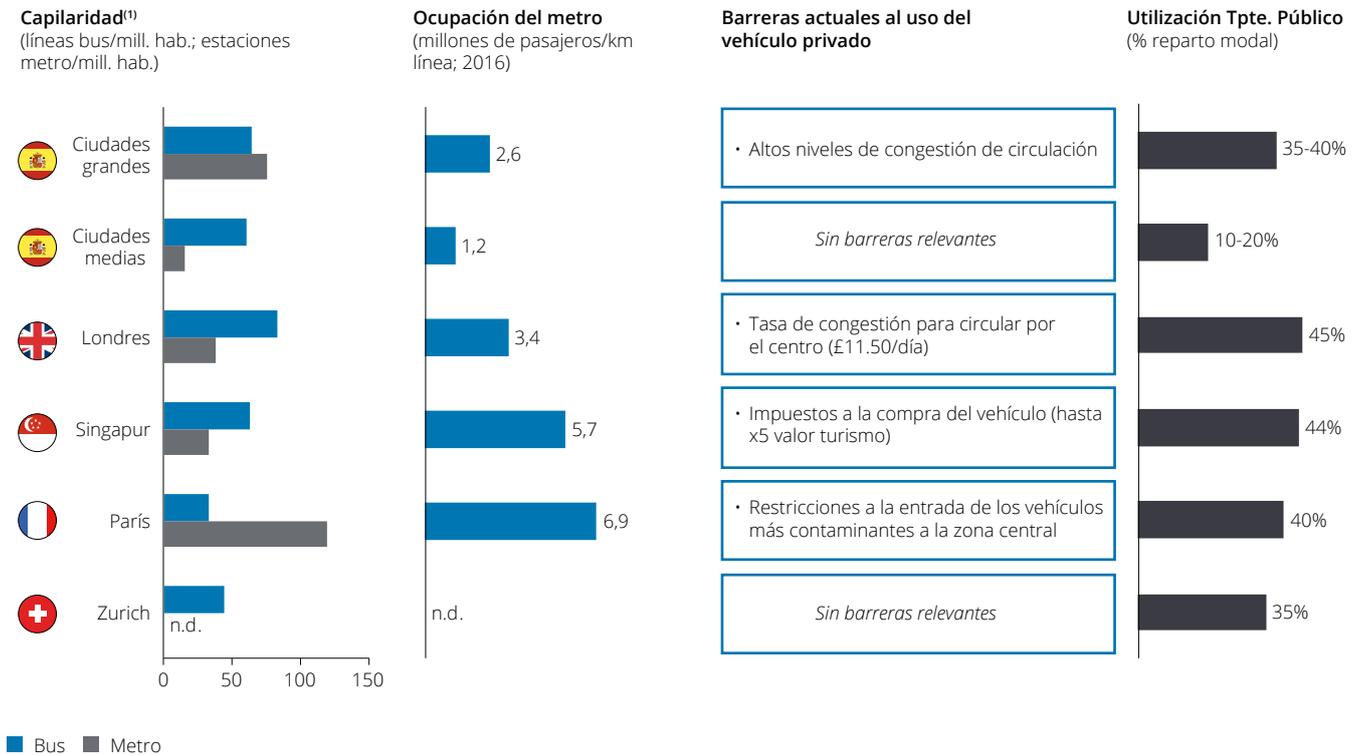
Fuente: análisis Monitor Deloitte

Cambio modal

El **cambio modal a transporte público**²⁹ es una actuación que permite reducir las emisiones GEI por pasajero-km (directas más indirectas) un 70%, en caso de autobús convencional (factor de emisión de ~50 gCO₂/pasajero-km), y más de un 90%, en caso de tren o metro (~5 gCO₂/pasajero-km), en ambos casos frente a un vehículo particular (150-200 gCO₂/pasajero-km). Esta actuación también permite reducir la congestión en las ciudades, ya que un autobús puede desplazar en un mismo vehículo 10-20 veces más pasajeros (un tren o metro hasta 100 veces más) que un turismo particular. A pesar de esta mayor eficiencia, el transporte público resulta, en una mayoría de desplazamientos, menos cómodo y conveniente para el usuario (normalmente no permite realizar trayectos “puerta a puerta” y supone mayores tiempos de desplazamiento) que la opción de utilizar el vehículo particular o un taxi/VTC. Esta situación explica que, en caso de ser posible, los usuarios optan mayoritariamente por desplazarse en sus vehículos particulares.

Las grandes ciudades españolas (Madrid, Barcelona) presentan indicadores de oferta de transporte público (líneas de autobús o estaciones de metro por habitante) y de calidad de servicio (frecuencia media) comparables, e incluso superiores, a los de otras grandes ciudades analizadas (ver Cuadro 15). Las ciudades en las que el transporte público ha adquirido un mayor peso en el reparto modal (Singapur, Londres o Tokio, con un peso del transporte público en torno a 45-50%) tienen en común la existencia de medidas que desincentivan la posesión y el uso del vehículo particular. En el caso de Singapur, los impuestos existentes provocan que un vehículo con un precio de venta antes de impuestos de 10.000 euros alcance un precio de venta final al consumidor de más de 50.000 euros. En Londres existe una tasa de 12 euros al día por entrar al centro de la ciudad con un vehículo convencional, mientras que en Tokio es obligatorio tener una plaza de garaje privada para tener un vehículo.

Cuadro 15: Comparativa internacional de servicios de transporte público en las ciudades



(1) Datos de transporte público en las ciudades analizadas

Fuente: Observatorio de Movilidad Metropolitana; Transport for London; Singapore Land Transport Authority; Greenpeace; RATP Paris; análisis Monitor Deloitte

29 Desde un trayecto realizado en vehículo particular

Estas grandes ciudades españolas pueden alcanzar mayores porcentajes de uso de transporte público (incremento de 3-5 p.p.³⁰ de cuota modal en 2030, para acercarse a las ciudades de referencia), ya que las restricciones al uso del vehículo particular son aún limitadas, si se compara con otras ciudades de referencia (sin considerar la reciente iniciativa Madrid Central, que es similar a las medidas ya implantadas en ciudades como Berlín, Roma, París o Bruselas, aunque lejos de otras ciudades más ambiciosas ya mencionadas). Adicionalmente, las ratios de uso de las grandes infraestructuras de transporte, como la red de metro, indican que se puede incrementar su uso, lo que sugiere que esta demanda adicional de transporte podría ser cubierta sin necesidad de grandes inversiones en nueva infraestructura civil (el número de pasajeros desplazados por km de red de metro en Madrid y Barcelona es inferior al de ciudades como París, Londres, Berlín o Singapur).

La ambición de cambio modal a transporte público en las ciudades medianas podría ser menor (incremento de 1-2 p.p. a 2030), debido a que existen otros modos de transporte que se adaptan mejor a este tipo de ciudades (caminar, vehículos de movilidad personal).

En estas ciudades medias, el **cambio modal a caminar** tiene un mayor potencial, debido a que la variable más relevante que considera el usuario para seleccionar este modo es la distancia del trayecto (por debajo de 1-2 km, caminar supone normalmente el medio de transporte de menor duración, ya que evita las esperas necesarias en el transporte público y permite un desplazamiento puerta a puerta). Medidas como la peatonalización de las calles facilitan este cambio modal a caminar en trayectos (o en partes de los mismos) que, de otro modo, se realizarían en vehículo motorizado.

Por último, el **transporte en otros medios no motorizados (bicicleta, patinete, etc.)**³¹ goza en nuestro país de una popularidad muy inferior a la de otros países como Holanda o Dinamarca (en ciudades como Ámsterdam o Copenhague la bicicleta ha capturado el 30% de los trayectos totales, mientras que en ciudades como Madrid o Barcelona supone menos de un 5%). El desarrollo de este modo de transporte requiere diferentes medidas, entre las que se encuentran: i) el desarrollo de carriles específicos para estos medios no motorizados, que cubran grandes arterias troncales de la ciudad y que ofrezcan a los usuarios una mayor seguridad en su uso, ii) el impulso de aparcamientos dedicados a estos vehículos en puntos relevantes de la ciudad, que faciliten la

intermodalidad (estaciones principales de tren o metro) o que permitan desplazamientos punto a punto (grandes centros de trabajo o zonas residenciales) y iii) el desarrollo ordenado de sistemas de alquiler que faciliten el acceso a estos medios de transporte de manera cómoda para los usuarios.

De acuerdo a lo anterior, se ha estimado que sería necesario un incremento del transporte en modos no motorizados (caminar, bicicleta, otros medios no motorizados) de ~5 p.p. tanto en ciudades medias como en ciudades grandes.

Movilidad inteligente

La digitalización de la economía y la aparición de nuevos modelos de negocio basados en la economía colaborativa están teniendo un relevante impacto en la movilidad urbana. Desde hace unos años, están proliferando nuevos modelos de negocio que están redefiniendo esta movilidad, tales como el carsharing (alquilar un coche para un trayecto puntual), el carpooling (compartir un trayecto con más viajeros) o el transporte bajo demanda (vehículos de transporte colectivo que optimizan su ruta en función de la demanda de movilidad en tiempo real).

Estos modelos permiten mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del transporte de pasajeros frente al uso de vehículo particular (ver Cuadro 16). En el caso del carsharing, el uso de vehículos más adecuados a la movilidad en las ciudades (menor tamaño y por ello, menor consumo que un vehículo medio) y que son vehículos más nuevos (alcanzan el final de su

Transporte bajo demanda

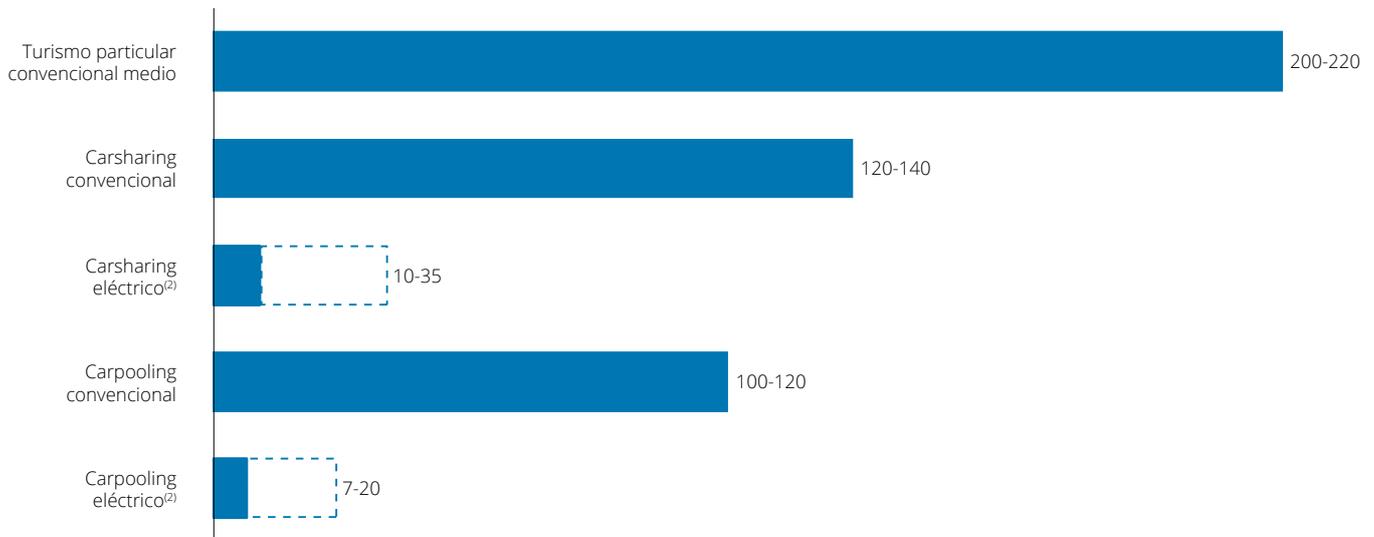
El transporte bajo demanda es un nuevo modelo de movilidad en el que las rutas originalmente fijas de vehículos colectivos se convierten en rutas flexibles, adaptándose en tiempo real a las necesidades de los usuarios. En función de la demanda de movilidad y las congestiones de la ciudad, un algoritmo agrega los trayectos requeridos y define la ruta más eficiente para optimizar la distancia recorrida y maximizar la conveniencia de los pasajeros. Estos pasajeros deben trasladarse a un punto cercano definido por el algoritmo para iniciar su trayecto ("paradas virtuales"). La mayor eficiencia de las rutas resulta en un coste más bajo del trayecto y una mayor utilización de las mismas.

Este modelo está comenzando a integrarse con los sistemas de transporte público de algunas grandes ciudades como Austin, Los Ángeles o Singapur, donde en los primeros casos de uso está logrando doblar la utilización de las rutas y reducir el coste en un 30-50%. Con el despegue de la tecnología de movilidad autónoma, este modelo está llamado a ser uno de los principales protagonistas de la movilidad urbana del futuro.

30 Puntos porcentuales

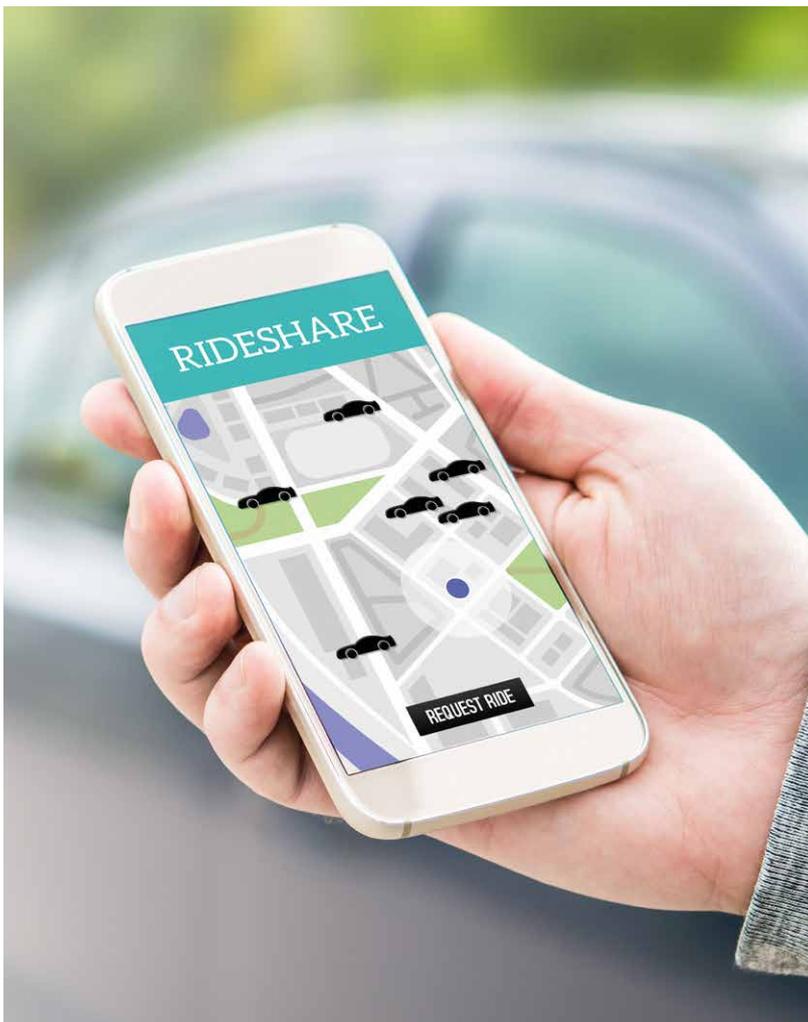
31 A efectos de este estudio, las bicicletas y patinetes eléctricos, así como otros vehículos de movilidad personal con motor se considera transporte no motorizado

Cuadro 16: Emisiones GEI directas e indirectas de distintas modalidades de movilidad inteligente en trayectos urbanos (grCO₂eq/pasajero-km)⁽¹⁾



(1) Consumos asumidos: turismo privado convencional: 10l/100km en ciudad; carsharing convencional: 6l/100km en ciudad; carsharing eléctrico: 15kWh/100km en ciudad; carpooling convencional: 10l/100km en ciudad; carpooling eléctrico: 20kWh/100km en ciudad. Ratios de ocupación media: privado y carsharing 1,2 pasajeros por vehículo, carpooling: 2,5 pasajeros por vehículos.
 (2) Rango inferior: factor de emisión sector eléctrico 2030 (0,08 kgCO₂eq/kWh); rango superior: factor de emisión sector eléctrico 2016 (0,22 kgCO₂eq/kWh)

Fuente: análisis Monitor Deloitte



vida útil antes que un vehículo particular), permite una reducción de emisiones de hasta el 40%. Adicionalmente, si se realiza en un vehículo eléctrico, como está siendo el caso de una gran mayoría de las propuestas actuales, la reducción de emisiones puede llegar a superar el 90%.

El carpooling es una solución incluso más eficiente y sostenible, ya que es el modelo que permite una mayor ocupación media de los vehículos, reduciendo el consumo energético del transporte de pasajeros. En caso de un vehículo particular, la ocupación media en desplazamientos por ciudad se encuentra en torno a 1,2-1,5 pasajeros/vehículo, mientras que en carpooling la ocupación puede incrementarse hasta los 2,5-3. Esta mejora conlleva un ahorro de emisiones GEI, en pasajero-km, del 50%, en caso de utilizar un vehículo convencional, y de más del 90%, en caso de vehículo eléctrico.

Dado que estos modelos reducen el número de vehículos necesarios para satisfacer la misma demanda de movilidad, también presentan la ventaja de liberar espacio en la vía pública y reducir las congestiones. Su adopción permitirá una reducción de la cantidad de vehículos particulares a largo plazo, sustituyendo su uso por una combinación de otros modos de transporte, en función de las necesidades de movilidad de cada usuario (transporte público, carsharing, carpooling, taxi o VTC).

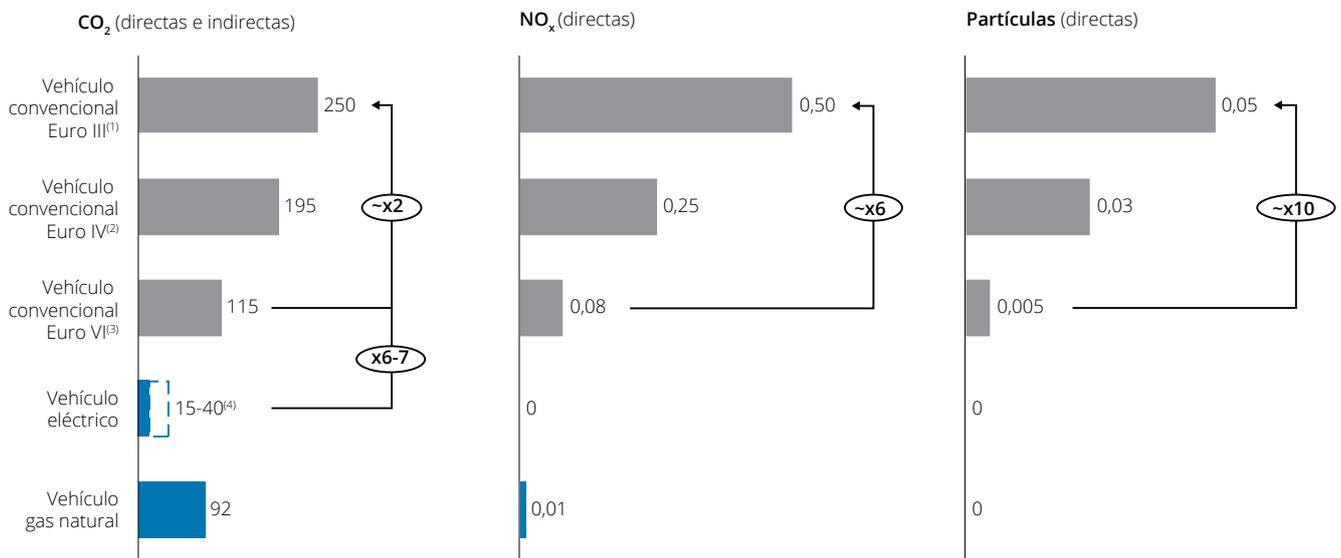
La movilidad inteligente presenta un mayor potencial en grandes ciudades, debido a que la mayor demanda total de transporte genera la escala necesaria para que estos modelos sean económicamente rentables. En grandes ciudades, los modelos de movilidad inteligente deberían capturar hasta un ~10% de los trayectos en vehículo particular para el año 2030, y realizarse en vehículo eléctrico para conseguir el mayor impacto en la sostenibilidad. Esto equivaldría a una flota de más de 10.000 y 4.000 vehículos eléctricos dedicados a estos modelos de negocio en Madrid y Barcelona, respectivamente; como referencia hoy hay unos 2.000 vehículos de carsharing en Madrid. En ciudades medias, este desarrollo probablemente sería más reducido, por la menor distancia y número de trayectos en vehículo particular, por lo que se ha considerado

que se debería llegar al 3-5% de los trayectos en vehículo particular hasta el año 2030.

Fomento del vehículo eléctrico

Existen trayectos que presentan mayor dificultad para ser realizados tanto en transporte público, como en modelos de movilidad inteligente (por la falta de capilaridad y frecuencia de la oferta, menor comodidad o conveniencia para el usuario, etc.). Por lo tanto, es esperable que el transporte en vehículo particular siga teniendo un peso relevante en el transporte de pasajeros en las ciudades españolas aún en 2030. Un vehículo eléctrico no tiene emisiones directas de partículas y NO_x y emite 6-7 veces menos emisiones GEI³² que un vehículo convencional Euro III (ver Cuadro 17).

Cuadro 17: Emisiones de CO₂ y de elementos contaminantes según tipo de vehículo (g/km)



(1) Vehículos matriculados entre 2000 y 2005
 (2) Vehículos matriculados entre 2005 y 2008
 (3) Vehículos matriculados a partir de 2009
 (4) Mix eléctrico 2017: 40 gCO₂/km; Mix 2030: 15 gCO₂/km

Fuente: análisis Monitor Deloitte

En grandes ciudades, los modelos de movilidad inteligente deberían capturar hasta un ~10% de los trayectos en vehículo particular para el año 2030

32 Asume el mix medio del sistema de generación español en la actualidad

El crecimiento del vehículo eléctrico en las ventas y el parque a lo largo del tiempo dependerá de (entre otras cuestiones):

- El encaje entre los modelos disponibles y las necesidades de cada propietario: los fabricantes de modelos eléctricos van a incrementar el número de modelos desde 150 en 2017 a 240 en 2020, los nuevos modelos disponen de autonomías en el entorno de 400-500 km, y aseguran que el 15-25% de su fabricación serán modelos eléctricos en 2025.
- El acceso a un punto de recarga: a día de hoy, únicamente los usuarios con un lugar de aparcamiento fijo (residencia, trabajo) pueden asegurarse la disponibilidad de un punto de carga para su vehículo eléctrico, mientras la infraestructura de carga en vía pública no se extiende de modo suficiente (en 2018, en Madrid había 21 puntos de carga en vía pública).
- La intensidad de las restricciones a la circulación que implante cada ciudad: la necesidad de entrada en los centros urbanos fomentará la compra de vehículos (por ejemplo, los vehículos Cero emisiones (eléctricos puros e híbridos enchufables) pueden circular libremente por la zona Madrid Central, todos los demás tienen algún tipo de restricción si no pertenecen a residentes).

Para una penetración masiva del vehículo eléctrico en las ciudades es imprescindible el despliegue de la infraestructura de recarga. Las diferentes Administraciones Públicas deben impulsar medidas que faciliten su desarrollo, tales como la agilización de trámites, la liberación de suelo público, la definición de un modelo de despliegue para la infraestructura de recarga y exenciones en los impuestos municipales (Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica).

La penetración de vehículo eléctrico debería alcanzar el 25-30% del parque en 2030, algo superior al nivel necesario a escala nacional (20-25%). Esto es debido a que, en las ciudades, particularmente en las grandes, existirán mayores incentivos a su adopción por la posibilidad de acceso al centro de las ciudades y el aparcamiento en zonas reguladas. Además, las barreras desaparecerán antes ya que los trayectos urbanos medios son inferiores a la autonomía de un vehículo eléctrico y la demanda de infraestructura de

carga y su rentabilidad sería superior por la mayor concentración de usuarios.

Desincentivar la circulación de los vehículos más antiguos y contaminantes

España presenta una de las flotas de turismos con mayor antigüedad en Europa: la edad media del parque es superior a 12 años³³, el 60% de estos vehículos tienen más de 10 años (frente al 50% de media en Europa) y el ~40% no alcanzan las especificaciones mínimas para tener un distintivo medioambiental de la DGT³⁴ (ver Cuadro 18).

Un vehículo antiguo diésel Euro III³⁵ emite 10 veces más partículas, 6 veces más NO_x y casi 2 veces más emisiones GEI que un vehículo convencional diésel Euro VI nuevo (ver Cuadro 17).

Es imprescindible la sustitución del parque de turismos antiguos por vehículos más eficientes y menos contaminantes³⁶. Las autoridades municipales, para acelerar esta renovación, necesitan impulsar restricciones a la circulación de los vehículos más antiguos, ampliar las zonas afectadas por éstas e incrementar la fiscalidad sobre los vehículos más contaminantes.

Desincentivar los vehículos antiguos y más contaminantes supondrá un incremento relevante de las ventas de turismos. Esta renovación implicará que la vida media de los vehículos del parque urbano pase de los actuales 10-11 años a 6-7 años, e incrementará las ventas de vehículos en un 10-30% (por ejemplo, en la ciudad de Madrid, las altas anuales pasarían de 80.000-100.000 vehículos a 95.000-125.000 y que el parque de vehículos estuviera completamente renovado en 2030 (ver Cuadro 19).

Vehículos de transporte público menos contaminantes

El autobús de gas natural supone hoy en día una opción adecuada para su uso en el transporte urbano de pasajeros. Estos autobuses presentan casi el mismo coste completo que un autobús diésel, y permiten reducir las emisiones de elementos contaminantes (NO_x, SO_x, partículas) un 80-90% respecto a un autobús convencional diésel antiguo, lo que ayuda a la mejora la calidad del aire en las ciudades (ver Cuadro 21). Por su parte, los autobuses convencionales más modernos, equipados con sistemas de limpieza de gases de

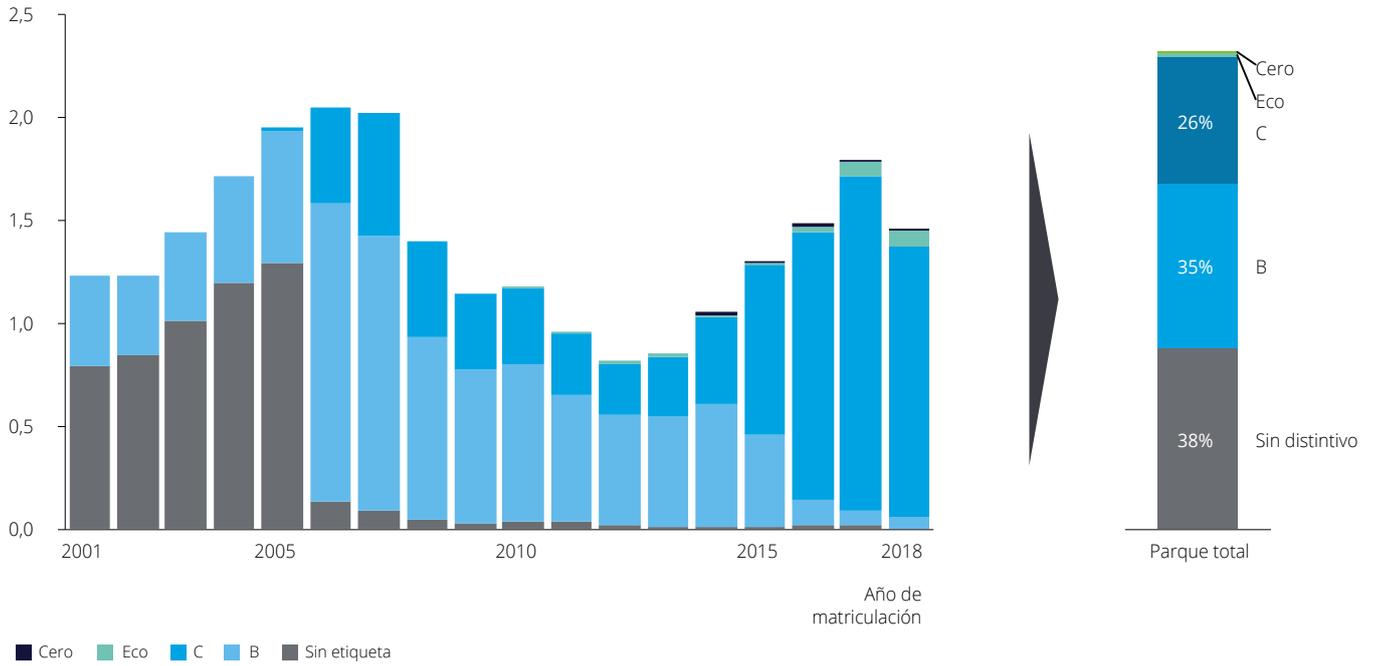
33 Entre 10 y 11 en las ciudades analizadas

34 Turismos con clasificación inferior a Euro III (gasolina) o Euro IV (diesel)

35 Vehículo matriculado antes del año 2005 y que no alcanza las especificaciones mínimas para tener distintivo medioambiental de la DGT

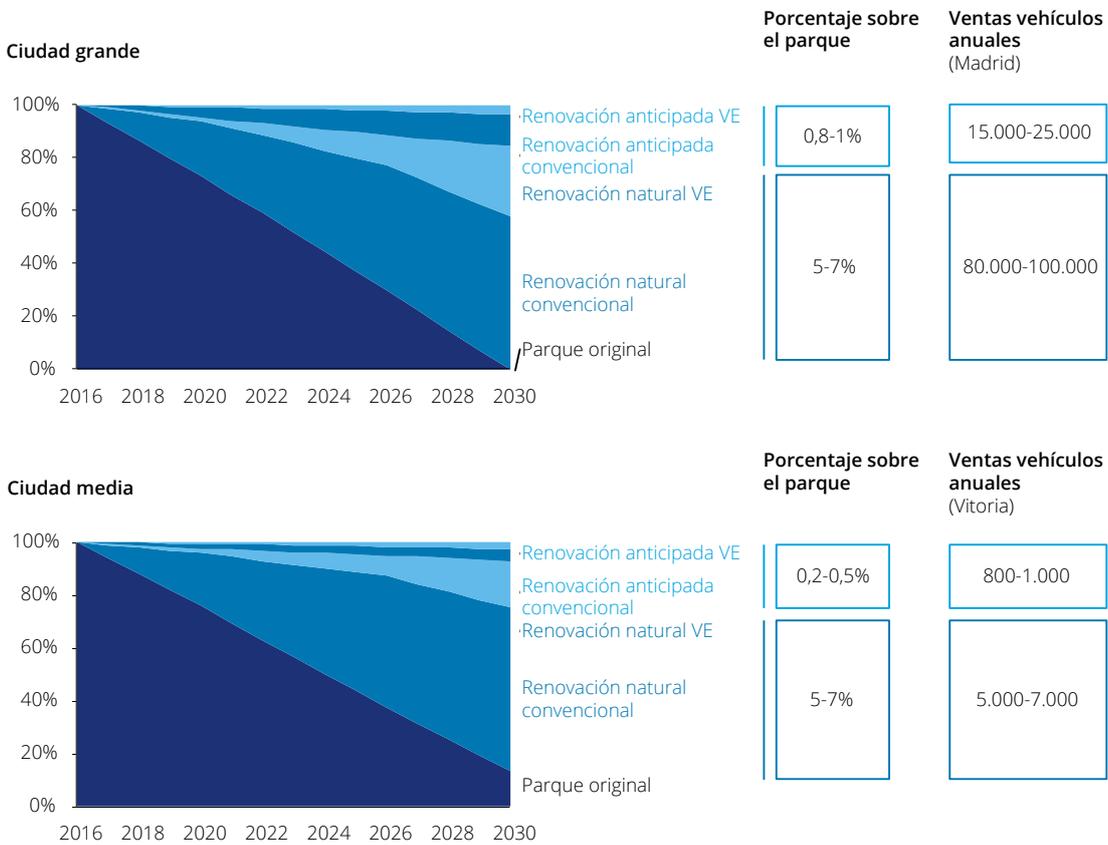
36 Incluye vehículos nuevos diésel, gasolina, gas natural y glp

Cuadro 18: Número de vehículos por distintivo medioambiental DGT (Millones)



Fuente: DGT

Cuadro 19: Parque de vehículos por ciudad



Fuente: análisis Monitor Deloitte

escape, también consiguen importantes reducciones de emisiones de elementos contaminantes, casi al nivel de los de un autobús de gas natural. Estas soluciones debe ser una actuación prioritaria para las Administraciones Municipales, mientras se desarrollan técnica y comercialmente alternativas aún más sostenibles, como el autobús eléctrico.

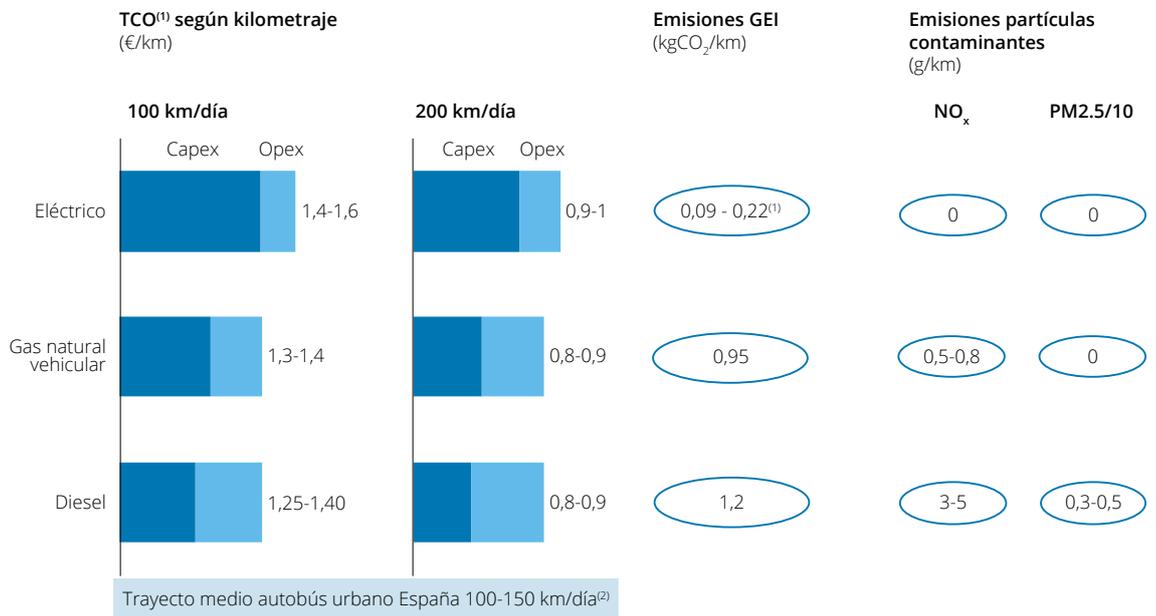
El autobús eléctrico tiene un coste completo mayor que otras tecnologías de autobuses con combustibles alternativos en estos momentos. El menor coste de operación por km recorrido del autobús eléctrico únicamente compensa el mayor coste de inversión con una utilización diaria de más de 200 km al día. A pesar de este mayor coste de inversión, algunos ayuntamientos, como Barcelona, Madrid o San Sebastián, ya están probando esta tecnología en sus ciudades, debido a los relevantes beneficios en la reducción de emisiones GEI (80% inferiores a las de un diésel con el mix actual y >90% con el mix 2030) y en las emisiones de elementos contaminantes (abatimiento completo de las emisiones directas de NO_x y partículas).

La penetración de vehículos eléctricos deberá realizarse de modo progresivo a medida que los costes de adquisición disminuyan y aumente su competitividad. Ésta deberá comenzar por las grandes ciudades, que cuentan con más recursos y capacidades (empresas de transporte municipal con mayores presupuestos y recursos para establecer líneas piloto, cargadores, desarrollo de know-how etc.) que las ciudades de menor tamaño. Se ha estimado que, para el año 2030, el 15-25% de la flota de autobuses municipales debería ser eléctrica y el resto debería ser de gas natural o convencionales de última tecnología.

Transporte mercancías

El transporte de mercancías, pese a tener menor peso en el consumo de energía y emisiones de las ciudades que el transporte de pasajeros, también presenta actuaciones que permiten mejorar su sostenibilidad energética. En la ciudad, el transporte de mercancías predominante es el denominado de última milla, que es aquel que se desarrolla desde que el producto sale del último punto de distribución hasta que llega al lugar donde se entrega al cliente o consumidor.

Cuadro 20: Comparativa de diferentes tecnologías de autobuses



(1) Coste total de pertenencia (capex más opex)
 (2) Mix actual: 0,22kgCO₂,eq/kWh; mix 2030: 0,09kgCO₂,eq/kWh
 (3) Kilómetros en servicio. No incluye el kilometraje realizado para ir y volver de las cochera

Fuente: FMI; Comisión Europea: "ZeEUS eBus Report"; BNEF, análisis Monitor Deloitte

Las **actuaciones de mayor relevancia**, por su impacto positivo en la sostenibilidad energética de la ciudad y por enfrentarse a menores barreras en su desarrollo, serían:

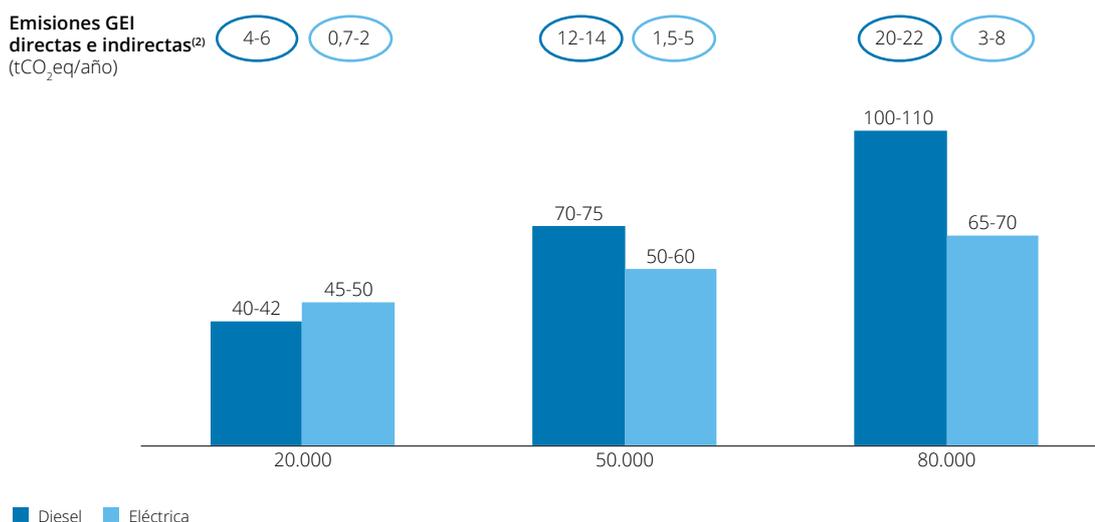
- **Mejoras en la cadena logística**, mediante actuaciones como el *load-pooling* (utilizar vehículos de reparto con capacidad libre para compartirla con otros agentes que la demanden), la optimización de las rutas de transporte (algoritmos que optimizan las rutas, permiten reducir los km recorridos y el tiempo de entrega) y los centros de consolidación urbanos (plataformas logísticas próximas a las áreas urbanas a las que sirven, que permiten distribuir productos a la ciudad con menos viajes y mayor volumen de carga medio).
- **Sustitución de los vehículos convencionales de transporte de mercancías ligeros**. El parque de furgonetas es incluso más antiguo que el de turismos, con una antigüedad media de 14 años (el ~50% del parque tiene más de 15 años de antigüedad). Estos vehículos tienen emisiones GEI 2-3 superiores a una furgoneta nueva y 6-7 veces más emisiones que los modelos eléctricos. Al igual que el parque de turismos, es necesaria la renovación de los vehículos más antiguos del parque (con un ritmo

mayor al de los últimos años) por modelos eléctricos, GNC y convencionales nuevos. Las medidas que aplicaban al parque de turismos aplicarían también a este colectivo (restricciones de circulación, discriminación de impuestos, infraestructura de carga, etc.). Este tipo de vehículos tienen normalmente altas utilidades lo que permite que un modelo eléctrico, cuando está disponible, sea más económico que la opción diésel (ver Cuadro 21). Adicionalmente, estos vehículos realizan operaciones de carga/descarga en centros logísticos, en los que se puede desplegar infraestructura de carga específica para estas flotas. Esta carga en centros logísticos debería complementarse con carga rápida en vía pública, para ofrecer más flexibilidad a los transportistas y asegurar la disponibilidad de la recarga en rutas de mayor distancia, lo que incrementaría aún más su atractivo. Se ha estimado que el 30% de las toneladas-km repartidos en las ciudades se realizaría con este tipo de vehículos en 2030.

- A medio-largo plazo, veremos una proliferación de **nuevos modelos de última milla para el reparto de mercancía**, como drones o sistemas de reparto autónomos, que deberían ayudar a reducir aún más el impacto de este tipo de transporte en las ciudades.

Cuadro 21: Comparación coste total y emisiones de una furgoneta eléctrica y de diésel según kilometraje anual⁽¹⁾

(miles de €)

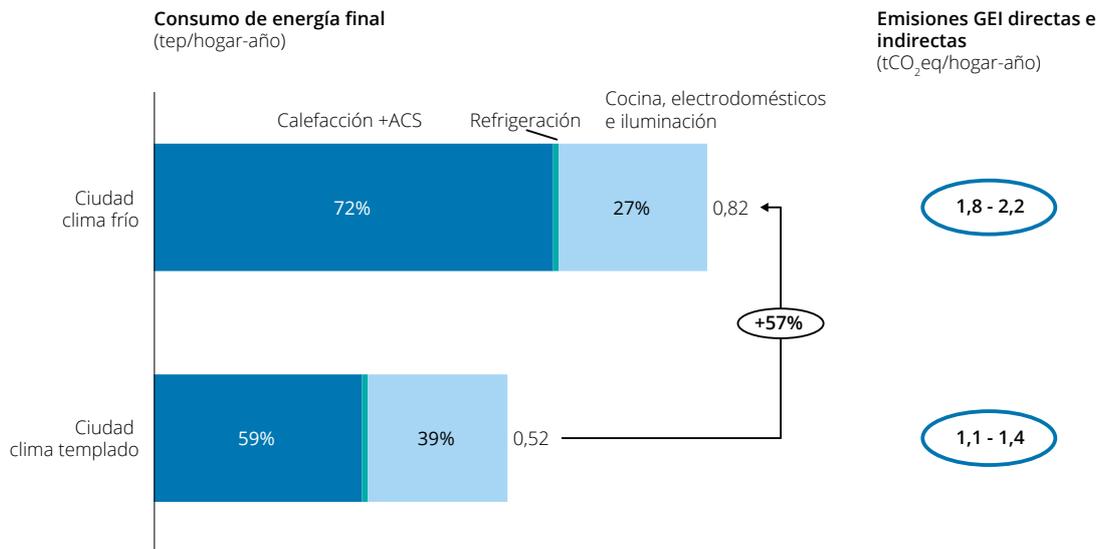


(1) Furgoneta con carga útil de 1t. Capex de furgoneta diésel: 20.000€. Capex de furgoneta eléctrica: 40.000€. Consumo diésel: 10l/100km, consumo eléctrico: 25kWh/100km. Coste diésel: 1,3€/l, coste eléctrico: 180€/MWh. Vida útil considerada: 10 años. Sin considerar costes de seguro ni de aparcamiento.

(2) El rango alto de las emisiones GEI de electricidad considera el factor de emisión del mix 2017: 0,22kgCO₂e/kWh. El rango alto considera el factor de emisión del mix 2030: 0,07kgCO₂e/kWh.

Fuente: análisis Monitor Deloitte

Cuadro 22: Consumo de energía final y emisiones en sector residencial



Fuente: IDAE; análisis Monitor Deloitte

Residencial: fomentar equipos térmicos más eficientes, sistemas de control del consumo y rehabilitaciones

En las ciudades, el sector residencial es responsable del ~30% de las emisiones directas y de más del 80% de las emisiones indirectas. El desglose del consumo en las ciudades muestra que el clima es el factor más relevante a la hora de explicar el consumo energético y las emisiones del sector residencial:

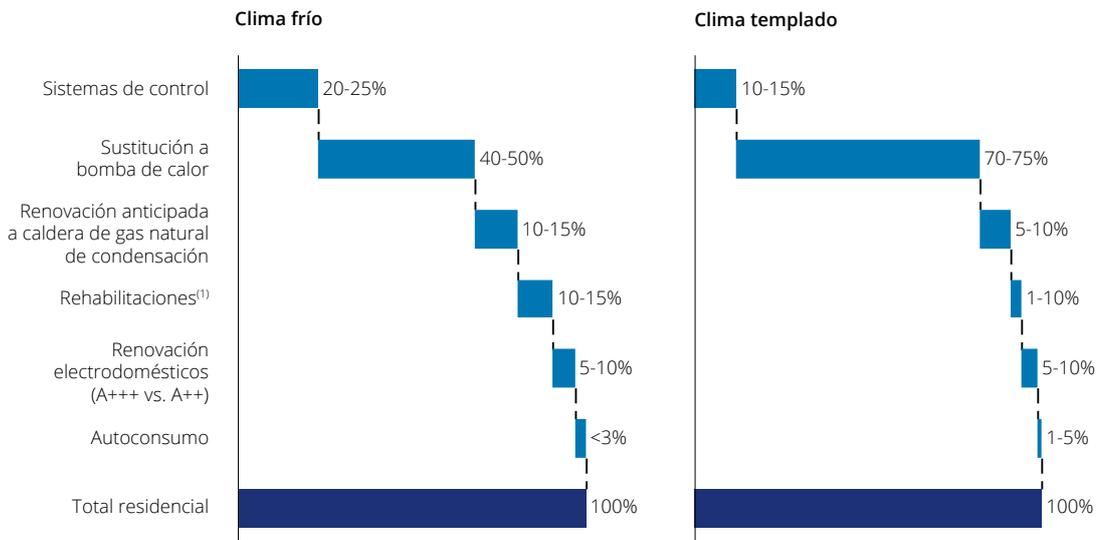
- La **calefacción y ACS** suponen el consumo energético más relevante de un hogar (60-70% del consumo de energía). En ciudades con climas fríos un hogar puede consumir hasta el doble de energía que uno en un clima templado, debido a las mayores necesidades de calefacción.
- El consumo de **refrigeración** (aire acondicionado) es reducido en todas las ciudades (<5% del consumo). Esto se debe a que, a pesar de suponer un consumo relevante en los momentos de punta de calor, las horas totales de uso de aire acondicionado a lo largo del año son reducidas en un hogar medio. Además, la penetración de sistemas de refrigeración es de 40 y 65%, respectivamente, mientras que la penetración de los sistemas de calefacción está por encima del 60 y el 90%.
- El resto de los consumos residenciales, principalmente **cocina, electrodomésticos e iluminación** son más homogéneos en todos los climas, si bien su peso relativo sobre el total de consumo varía en función del peso del resto de consumos.

Las ciudades situadas en climas fríos tienen, además de un mayor consumo de calefacción y ACS, una mayor presencia de combustibles fósiles como gas natural, producto petrolífero y, en menor medida, carbón. Esto impacta en unas mayores emisiones GEI por hogar (1,8-2,2 tCO₂eq/hogar-año) en contraste con ciudades con climas más templados (1,1-1,4 tCO₂eq/hogar-año) (ver Cuadro 22).

La mejora de la sostenibilidad energética en el sector residencial se enfrenta a una serie de dificultades: un parque de edificios heterogéneo, técnicas constructivas que no han respondido a criterios de eficiencia energética, dificultad en las renovaciones por las altas inversiones necesarias o las disrupciones que suponen en el día a día de las personas que las habitan. Por todo lo anterior, se requiere un enfoque pragmático para poder conseguir una mejora significativa de la sostenibilidad energética de los edificios (ver Cuadro 23).

Primero deben implantarse sistemas de control del uso de la calefacción para mejorar la conservación de la energía. Posteriormente, en función de factores como el equipamiento de calefacción original de la vivienda, el estado de conservación del edificio, la zona climática o la inversión a realizar, deberían realizarse el cambio a equipos térmicos más eficientes (bomba de calor y caldera de gas natural de condensación), rehabilitaciones o ambas actuaciones a la vez. También, se deberían realizar medidas como la renovación de electrodomésticos a modelos más eficientes (A+++). Por último, se puede plantear la instalación de sistemas de autoconsumo.

Cuadro 23: Reducción de emisiones por tipo de actuación adicional en el sector residencial
(% sobre total del sector)



(1) Incluye rehabilitaciones de ventanas, fachadas, cubiertas y rehabilitaciones integrales

Fuente: IDAE; análisis Monitor Deloitte



Sistemas de control de calefacción

Los **sistemas de regulación y control de calefacción** (termostatos y sistemas que permitan ajustar el consumo de calefacción a las necesidades térmicas del hogar y adaptarlo a la temperatura exterior) permiten reducir entre un 15% y un 30% el consumo de calefacción de un hogar. Esta actuación debería ser prioritaria en el despliegue, ya que es una medida de ahorro energético que hace más eficientes las inversiones en el resto de actuaciones (por ejemplo, permite instalar un equipo térmico dimensionado a las necesidades reales del hogar).

El bajo coste de esta actuación (200-400 euros por hogar) y la rápida recuperación de la inversión (2-4 años), así como la facilidad para su instalación y utilización (con regulación remota desde el móvil o con algoritmos de inteligencia artificial que analizan los hábitos de los residentes en la casa) dan lugar a un elevado potencial para su adopción masiva en los próximos años. En ciudades de clima frío, donde esta actuación tiene un mayor potencial debido al mayor consumo de calefacción y a la mayor presencia de sistemas centralizados (un 30% frente a menos de 5% en climas templados), se debería alcanzar una penetración del 30-50% de hogares con estos sistemas para el año 2030.

Equipos térmicos más eficientes (bomba de calor y caldera de condensación)

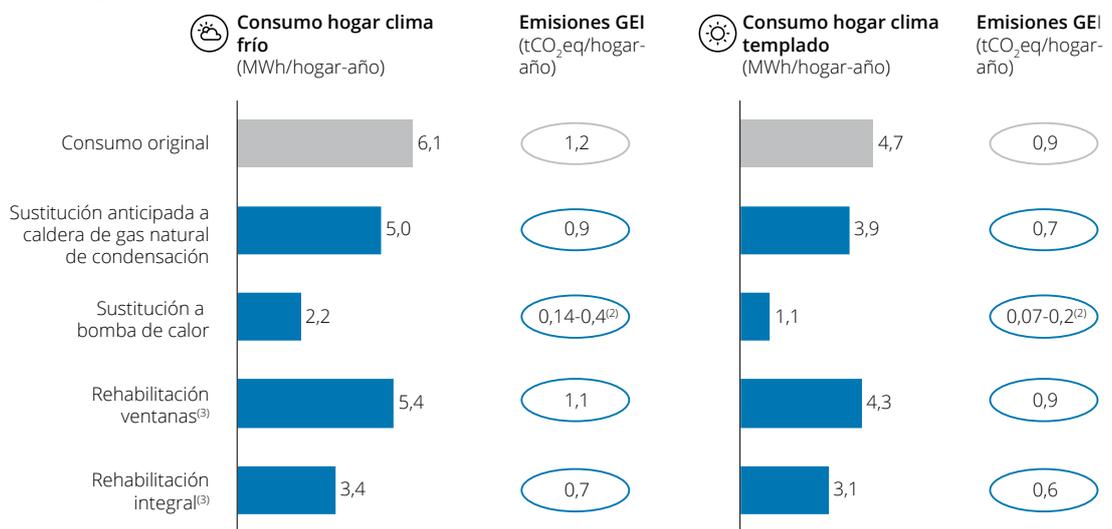
La **bomba de calor**³⁷, debido a su elevado rendimiento energético (que puede alcanzar hasta el 400-500% en climas templados y 200-300% en climas fríos), presenta la mayor capacidad de reducción de consumo y emisiones en un hogar (ver Cuadro 24).

En ciudades de climas templados, la bomba de calor (fundamentalmente bombas de calor aire-aire) no sólo es la actuación con mayor reducción de consumo y emisiones, sino también la opción más económica para el usuario, debido a las menores dificultades para su instalación en un mayor número de hogares, comparado con ciudades de climas fríos. Además, proporciona un sistema de refrigeración que puede ser utilizado en los meses más calurosos.

En ciudades de clima frío, esta tecnología presenta una serie de dificultades para una adopción masiva en el sector residencial como la existencia previa de sistemas de calefacción fijos con caldera convencional y radiadores de agua caliente (presente en el 90-95% de las viviendas en las ciudades de clima frío), que dificulta la instalación de un sistema basado en bomba de calor. Esto es debido a que normalmente requiere dejar de utilizar la instalación existente³⁸ y realizar

Cuadro 24: Consumo energético y emisiones en calefacción y ACS⁽¹⁾ en función de la actuación implementada

(MWh/hogar-año)



(1) Se toma como ejemplo un hogar de 90m² construido entre el 1960 y 1980 que emplea una caldera de gas natural convencional como equipo térmico, con una eficiencia del 90%. Eficiencia bomba de calor clima frío: 250%. Eficiencia bomba de calor clima templado: 400%. Eficiencia caldera de gas de condensación: 110%

(2) El rango alto de las emisiones considera el factor de emisión del mix de 2017: 0,22kgCO₂/kWh. El rango bajo considera el factor de emisión del mix de 2030: 0,07kgCO₂/kWh

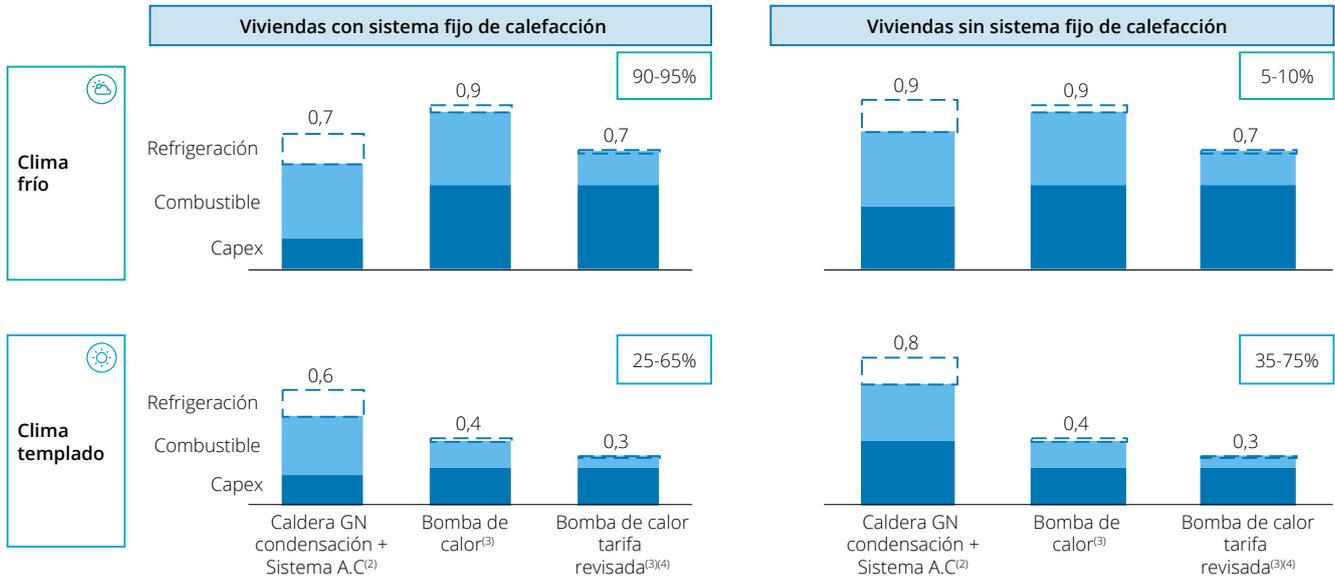
(3) Se considera que la vivienda se rehabilita pero mantiene el mismo equipo térmico (caldera de gas natural individual)

Fuente: análisis Monitor Deloitte

37 Se incluye cualquier tecnología de bomba de calor, incluyendo aire-aire (más comunes en clima templado) y aire-agua (más utilizadas en climas fríos)

38 La mayoría de las bombas de calor comerciales no permite calentar agua a la temperatura necesaria para una instalación de radiadores (>80°C)

Cuadro 25: Coste total de abastecimiento de calefacción, ACS y refrigeración según tecnología⁽¹⁾
(k€/año)



■ Porcentaje de viviendas en cada zona climática

- (1) Clima frío: Consumo por hogar calefacción y ACS: 6 MWh. Clima suave: Consumo por hogar calefacción y ACS: 3 MWh.
- (2) Coste caldera de condensación en viviendas con canalización para calefacción por agua: 2.500€. Coste en viviendas sin canalización: 8.500€ (incluye 6.000€ de obra). Coste de equipo de A.C.: 2.000€. Rendimiento de caldera de condensación: 110%. Coste completo de gas natural: 80€/MWh.
- (3) Coste bomba de calor clima frío: 10.000€ (6.000€ de obra y 4.000€ de equipo). Coste bomba de calor en clima templado: 3.000€. COP (coeficiente de operatividad: ratio entre energía útil proporcionada y energía empleada) considerado en clima frío: 2,5. COP en clima suave: 4. Precio electricidad: 160€/MWh.
- (4) Coste completo de electricidad: 80-85€/MWh. Considera que los equipos se amortizan a 15 años y las obras a 40 años.

Fuente: INE; IEA; NREL; análisis Monitor Deloitte

obras adicionales que encarecen la inversión asociada al cambio a bomba de calor (como la instalación de un sistema de suelo radiante o de *fancoils*³⁹). Otras barreras al desarrollo de la bomba de calor en los climas fríos, como el mayor coste del equipo⁴⁰ implican que el atractivo económico de sustituir una caldera por este tipo de sistemas sea inferior a la instalación de una nueva caldera de gas natural de condensación.

El actual sistema de tarifas eléctricas para el consumidor residencial supone una barrera adicional a la competitividad de la bomba de calor. Una tarifa eléctrica que incrementase la discriminación horaria en función del uso de la red eléctrica, y que no incluyese cargos no relacionados con el suministro eléctrico, junto con otros factores como la mejora tecnológica de las bombas de calor, permitiría a esta ser una opción con un coste completo similar al de una caldera de gas natural de condensación (en coste de inversión más coste de operación y mantenimiento, Cuadro 25).



39 Dispositivo formado por un intercambiador de frío o calor (coil) y un ventilador (fan)

40 Se suele requerir una bombas de calor tipo aire-agua, de mayor coste inicial

La **caldera de gas natural de condensación** presenta menores emisiones que una caldera térmica convencional, tanto de gas natural como de otros combustibles (producto petrolífero, carbón), gracias a una mayor eficiencia energética (~110% frente a un 70-90% de rendimiento de las calderas convencionales). Su rendimiento no varía sustancialmente en función del clima y el coste del equipo suele ser más reducido que el de la bomba de calor (2.000-3.000 euros por hogar).

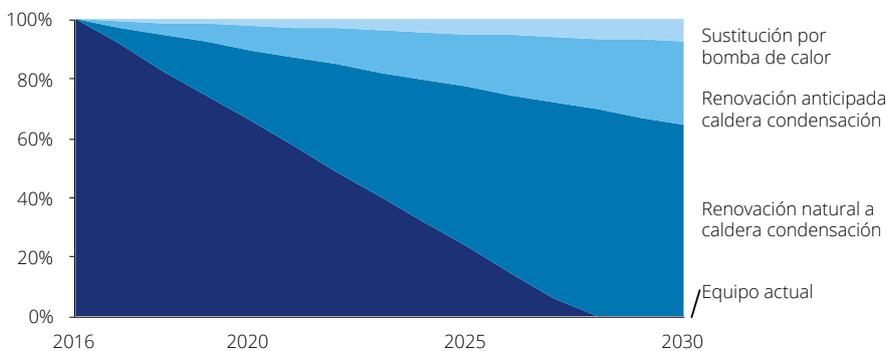
Para alcanzar la necesaria reducción de emisiones se requiere impulsar estas dos actuaciones de manera decidida en el sector residencial. La idoneidad de la actuación a realizar en cada caso dependerá de factores como la instalación existente, la coincidencia de la renovación con reformas de mayor calado en la vivienda como rehabilitaciones integrales, si es un edificio de nueva construcción, etc. En ciudades de clima frío, a 2030 se debería haber renovado de manera anticipada un 30-40% de las calderas convencionales a calderas de gas natural de condensación, adicionalmente a las renovadas de

manera natural, y un ~10% de los hogares debería sustituir su sistema actual por uno basado en bomba de calor. En ciudades con climas templados, un 20-30% de los hogares deberían sustituir su sistema por bomba de calor y el 15-20% de los hogares debería renovar su caldera de manera anticipada a una de gas natural de condensación (fundamentalmente aquellos que mantengan sistemas de calefacción basados en radiadores).

Este nivel de penetración supone un ambicioso programa de renovación del parque de equipos de calefacción y ACS. Considerando las ventas de calderas por renovación natural y las derivadas de esta renovación anticipada, el parque de calderas debería estar renovado completamente antes del año 2030. Por ejemplo, en una ciudad de clima frío, esto supone incrementar las ventas anuales de calderas de gas natural de condensación un 30% (ver Cuadro 26). En cuanto a la bomba de calor, como ejemplo ilustrativo, sería necesario alcanzar unas ventas anuales de 7.000 equipos en Madrid y de 8.000 en Barcelona durante el periodo analizado.

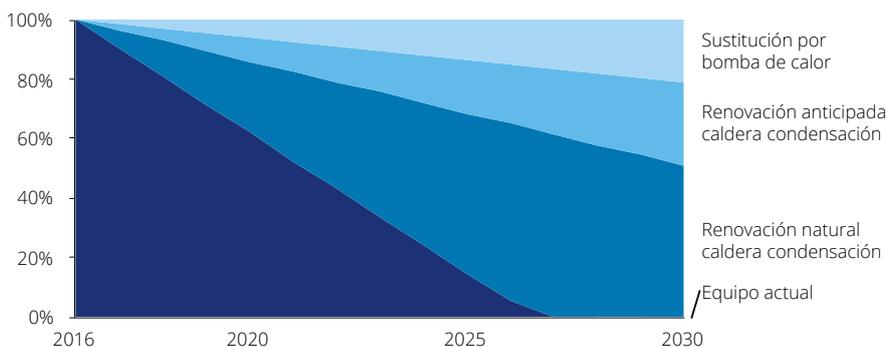
Cuadro 26: Parque de equipos térmicos por clima

Clima frío



Porcentaje sobre el total de hogares	Ventas equipos anuales (Madrid)
0,5%	~7.000
1,5%	~20.000
4%	~60.000

Clima templado



Porcentaje sobre el total de hogares	Ventas equipos anuales (Barcelona ¹)
1,1%	~8.000
0,9%	~6.000
2,5%	~17.000

(1) El porcentaje de renovación natural es diferente al ser diferente el número de hogares con caldera térmica

Fuente: análisis Monitor Deloitte

Rehabilitaciones

Los cuatro tipos más importantes de **rehabilitaciones** energéticas que pueden realizarse en un edificio residencial son el cambio de ventanas, la rehabilitación de fachadas, de cubiertas o una rehabilitación integral (ver Cuadro 27).

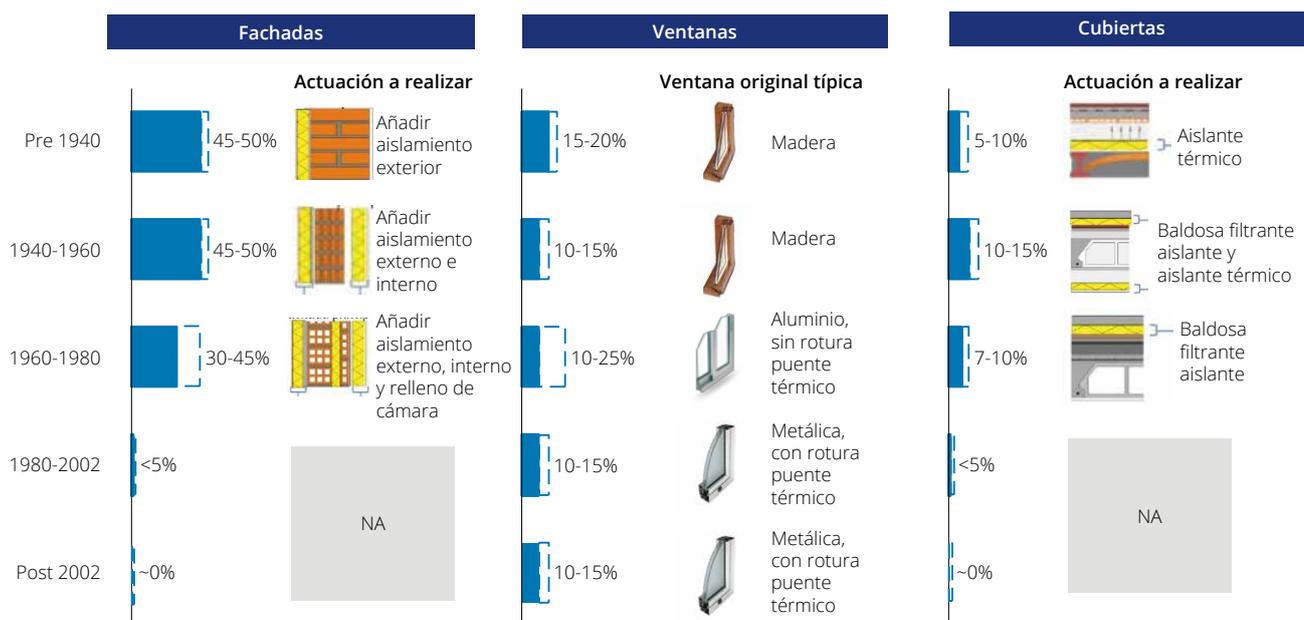
El ahorro en consumo de calefacción por **cambio de ventanas** depende de la tipología de ventana original y se sitúa entre un 10% y un 25%. Esta actuación es el tipo de rehabilitación que presenta menores barreras, debido a que: i) tiende a realizarse de modo natural con más frecuencia que otros elementos (por ejemplo, con el cambio de propietario de un inmueble), ii) presenta mayor facilidad de ejecución y menor coste de inversión, entre 3.000 y 6.000 euros por hogar, y iii) requiere de un menor nivel de consenso entre los propietarios del edificio, en contraste con otras actuaciones de rehabilitación.

La **rehabilitación de fachadas** consiste en incluir una(s) capa(s) de material aislante (externa, interna o en la cámara de aire) para incrementar el aislamiento térmico. La actuación concreta a realizar y la reducción potencial de consumo dependen de la antigüedad de la vivienda y de las características constructivas del edificio. La rehabilitación de fachadas tiene un potencial de ahorro del consumo de calefacción en viviendas anteriores a 1980 del 30-50%. Este tipo de rehabilitaciones, pese a tener un mayor potencial de

ahorro de consumo, presenta mayores barreras que otro tipo de rehabilitaciones, debido a su mayor coste de inversión inicial, 10.000 - 20.000 euros por hogar, su mayor periodo de recuperación de la inversión y a la necesidad de tener el acuerdo de la comunidad de vecinos.

La **rehabilitación de cubiertas** consiste en añadir aislante en la cubierta del edificio para reducir las pérdidas térmicas. De manera similar a las fachadas, en función de la cubierta original la actuación es distinta, y el ahorro de consumo varía entre el 5 y el 15% para viviendas anteriores a 1980. Al tratarse de una actuación realizada en el tejado de los edificios, tiene un impacto muy heterogéneo en las viviendas en función de la altura de la vivienda, siendo inexistente en las plantas alejadas de los pisos superiores. Requiere de una inversión de 8.000-10.000 euros por hogar, que, junto a la necesidad de acuerdo de la comunidad de propietarios y un periodo de recuperación de la inversión de más de 40 años, hacen que sea una actuación con elevadas barreras a su desarrollo. Actualmente gran parte de las cubiertas son rehabilitadas en periodos inferiores, para eliminar filtraciones de agua, y una gran mayoría de ocasiones no consideran criterios de ahorro energético. Resulta factible realizar la rehabilitación de cubiertas para mejorar el aislamiento térmico a la vez que se realizan dichas intervenciones.

Cuadro 27: Principales actuaciones de rehabilitación de edificios residenciales según antigüedad y reducción de consumos hogar medio en calefacción (%)



Fuente: Instituto Valenciano de la Vivienda; CSIC; análisis Monitor Deloitte

La **rehabilitación integral** incluye todas las actuaciones anteriormente mencionadas. Por consiguiente, es la rehabilitación con más ahorro de consumo y emisiones, de hasta un 60-70% en viviendas anteriores al 1980, pero también la que presenta mayores barreras y con una inversión más elevada, 20.000 - 40.000 euros por hogar. Existen obras de rehabilitación por cuestiones estéticas o de habitabilidad que no están incorporando criterios energéticos; para evitarlo, es necesario asegurar (por ejemplo, en el momento de la concesión de la licencia) que estas renovaciones incorporen este tipo de criterios y aprovechar las renovaciones naturales de los edificios.

Para maximizar el impacto y reducir las barreras de las rehabilitaciones, en especial las para las integrales o las de fachadas, éstas deberían realizarse coincidiendo actuaciones municipales de mayor calado, como planes de mejoras del entorno urbano de barrios, para que el propietario vincule la actuación con una revalorización adicional del valor de su vivienda.

En ciudades de clima frío la rehabilitación de ventanas es competitiva en coste total frente a otras actuaciones, aunque no suponga una reducción tan relevante de consumo de energía. En climas templados, sin embargo, existen otras alternativas más económicas que la rehabilitación (ver Cuadro 29).

La penetración estimada de rehabilitaciones en ciudades con clima frío, sería del 10-20% de hogares para el año 2030. De estas rehabilitaciones, el 75% de

las mismas deberían ser rehabilitaciones de ventanas debido a su mayor atractivo económico y las menores barreras a su ejecución. En ciudades con clima templado, el desarrollo de las rehabilitaciones sería inferior, debido al menor ahorro obtenido en dichos climas, llegando 5-10% de los hogares rehabilitados para 2030. El porcentaje de estas rehabilitaciones que serían cambios de ventanas sería similar al de las ciudades con clima frío.

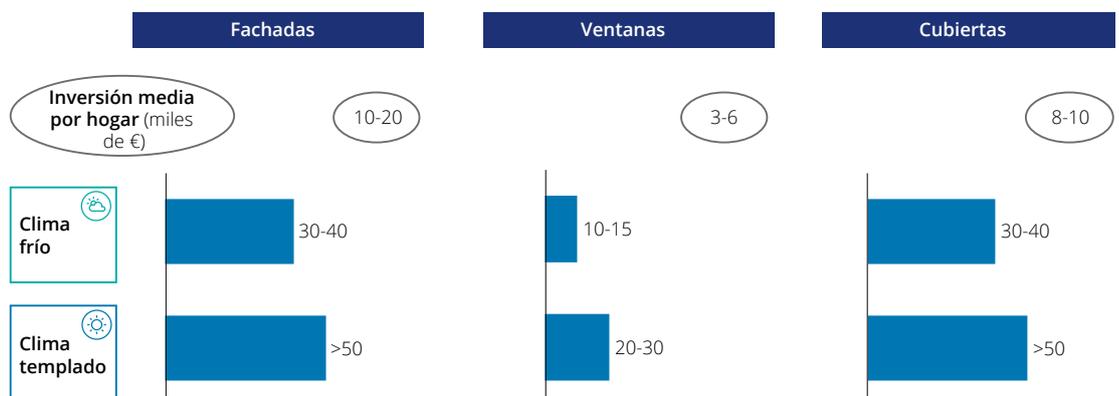
Autoconsumo

El autoconsumo en el sector residencial se debería desarrollar principalmente en aquellos edificios que dispusieran de una superficie lo suficientemente grande, de fácil acceso y con la orientación adecuada. Estas superficies permiten aprovechar las economías de escala frente a instalaciones más complejas (que pueden suponer una diferencia en coste total de hasta el 30% por los menores costes de inversión y mantenimiento).

Debido a la arquitectura vertical predominante en las ciudades españolas, instalar autoconsumo con placas solares, por ejemplo, en el 50% del espacio disponible en las cubiertas de los edificios residenciales de los centros urbanos reduciría las emisiones GEI de la ciudad en menos de un 1% (ver Cuadro 30).

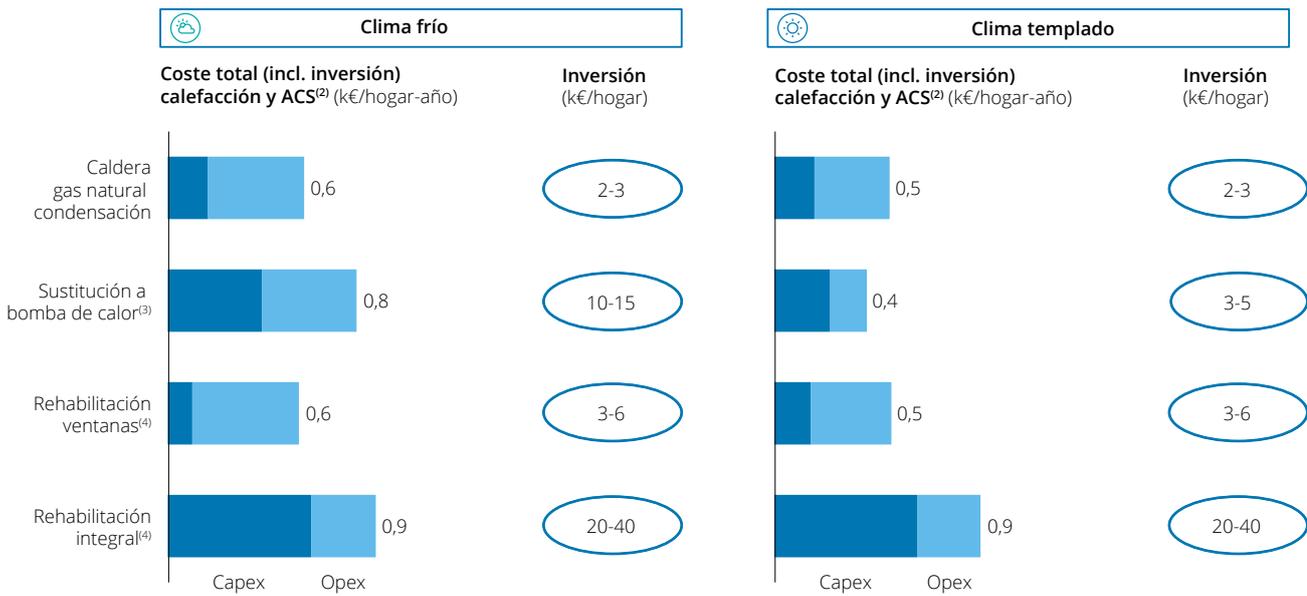
Por estos factores y a la existencia de opciones con menor coste para abatir emisiones, la penetración de estos sistemas en las ciudades españolas debería ser inferior al 5% en los hogares en climas fríos e inferior al 10% en ciudades con climas templados.

Cuadro 28: Recuperación de la inversión en actuaciones de rehabilitación por clima (años)



Fuente: INE; Análisis Monitor Deloitte

Cuadro 29: Coste total de suministro de calefacción y ACS según actuación realizada⁽¹⁾



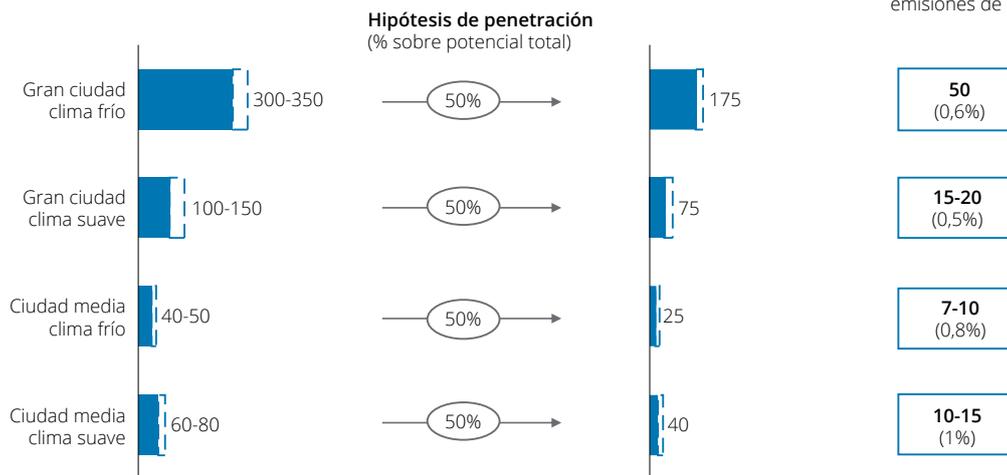
- (1) Hogar de 90m² construido entre el 1960 y 1980, caldera de gas natural convencional como equipo térmico, eficiencia del 90%. Eficiencia bomba de calor clima frío: 250%. Eficiencia bomba de calor clima suave: 400%. Eficiencia caldera de gas de condensación: 110%.
- (2) Vida útil de un equipo térmico: 15 años. Vida útil de una rehabilitación integral: 50 años. Vida útil de una rehabilitación de ventanas: 20 años. Precio de la electricidad: 160€/MWh (inc. IVA). Precio del gas: 80€/MWh (inc. IVA). Los precios de electricidad y gas natural son los precios medios del periodo 2016-2030.
- (3) 5.000€ de la inversión corresponden al equipo y se amortizan a 15 años y los 7.000€ restantes a la obra necesaria y se amortizan a 40 años. En caso de implantarse una tarifa eléctrica que incremente la discriminación horaria y elimine cargos no relacionados con el suministro eléctrico, el coste de la bomba de calor se igualaría al de una caldera de gas natural de condensación
- (4) Se considera que la vivienda se rehabilita pero mantiene el mismo equipo térmico (caldera de gas natural)

Fuente: análisis Monitor Deloitte

Cuadro 30: Potencial de autoconsumo en el sector residencial urbano

Potencial total de autoconsumo en las ciudades⁽¹⁾
(MW)

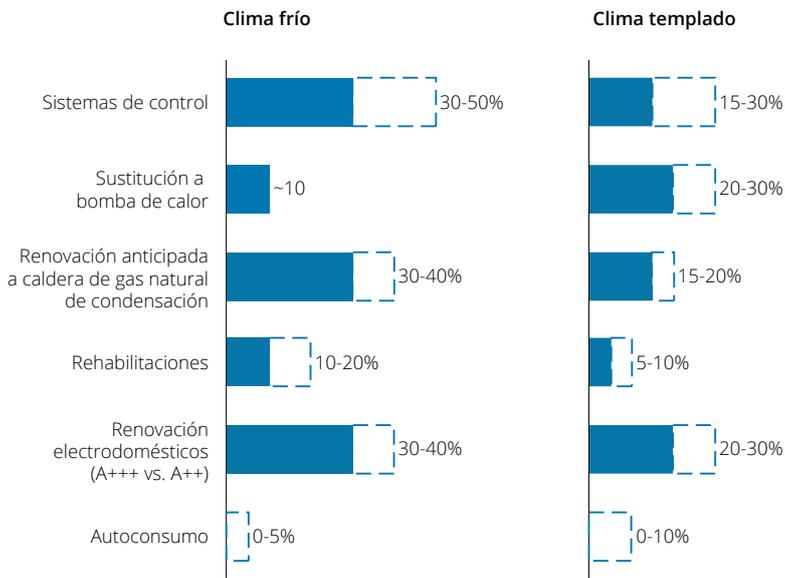
Emisiones abatidas⁽²⁾
(ktCO₂eq/año; % de las emisiones de la ciudad)



- (1) Espacio disponible por vivienda en cubiertas: 1,25 m²; capacidad instalada por vivienda 0,2-0,4 kW; irradiación media: gran ciudad clima frío: 4,9kWh/m²; gran ciudad clima suave: 4,1kWh/m²; ciudad media clima frío: 4,8kWh; ciudad media clima suave: 5,0kWh/m²
- (2) Considera el factor de emisión de electricidad de 2017 (0,22kgCO₂eq/kWh)

Fuente: IRENA; CNMC; IDAE; NREL; análisis Monitor Deloitte

Cuadro 31: Penetración de actuaciones del sector residencial por clima
(% hogares)



(1) Incluye rehabilitaciones de ventanas, fachadas, cubiertas y rehabilitaciones integrales

Fuente: análisis Monitor Deloitte

Resumen de la penetración de actuaciones por tipo de ciudad

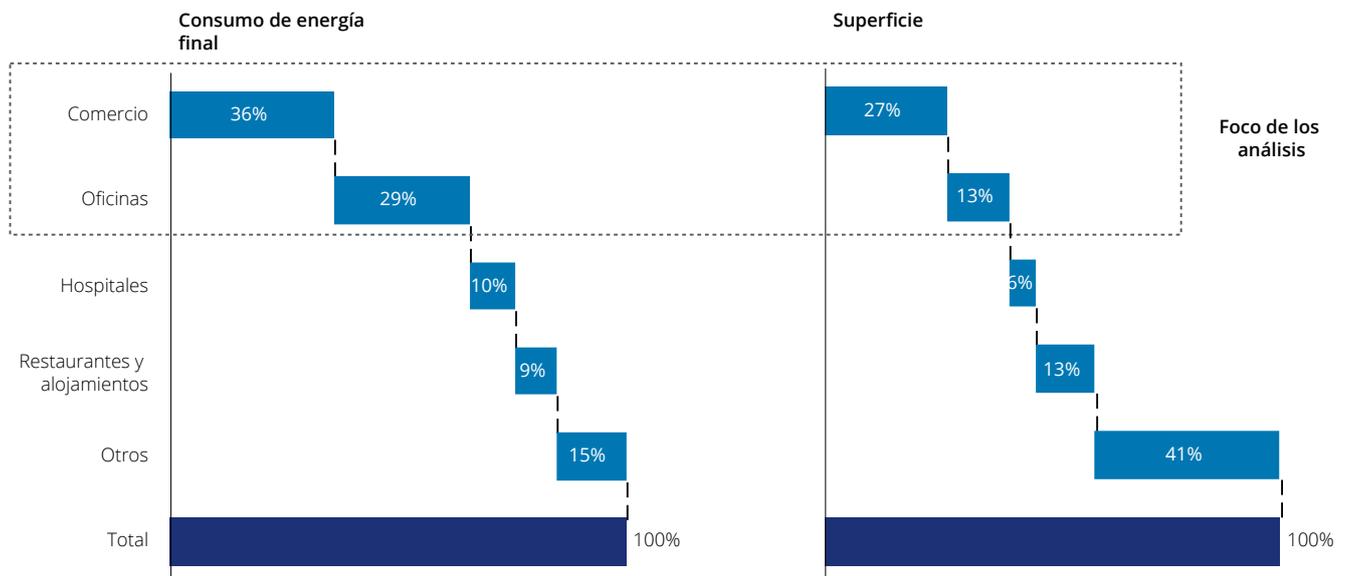
A continuación, se presenta el resumen de la penetración necesaria de las diferentes actuaciones por ciudad, en función de su clima (ver Cuadro 31).

Servicios (oficinas y comercios): impulsar el desarrollo de la bomba de calor y la mejora de los sistemas de iluminación

El sector servicios es responsable del 30-40% del consumo energético y del 25-35% de las emisiones directas e indirectas en las ciudades. Este sector agrupa edificios con usos muy heterogéneos: oficinas, centros comerciales, pequeños comercios, hospitales, polideportivos, hoteles, cafeterías, centros educativos, etc. Sin embargo, del total del sector servicios en las ciudades, las oficinas y el comercio suponen el 65% del consumo de energía y el 40% de la superficie (ver Cuadro 32). Por ello, los análisis desarrollados para el sector servicios se centran en estos sectores⁴¹.

En las oficinas y el comercio, los principales usos de energía son la climatización y el ACS (45-60% del consumo total) y la iluminación (40%). En cuanto a los vectores energéticos consumidos, estos sectores presentan un elevado grado de electrificación, situado en torno al 55-60% de su consumo de energía final (ver Cuadro 33):

Cuadro 32: Consumo de energía final y de superficie del sector servicios
(%)

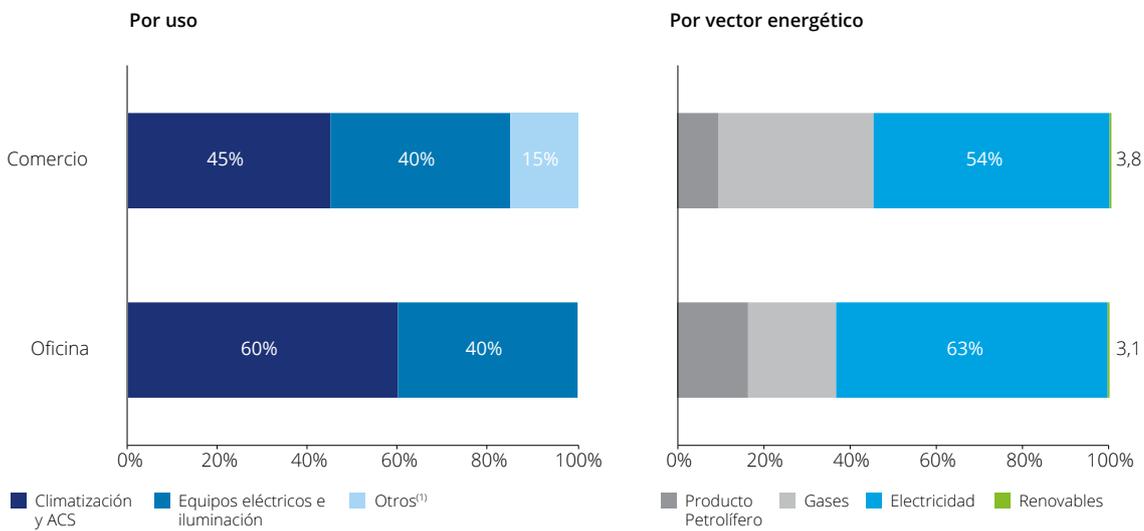


Fuente: IDAE

41 Del resto de sector no analizados (sanidad, restaurantes y alojamientos, educación, centros deportivos, etc.) no se ha podido encontrar información suficientemente homogénea y representativa sobre consumos, equipamientos y posibles actuaciones de sostenibilidad a desarrollar



Cuadro 33: Consumo de energía final por uso y por vector en el sector servicios
(Mtep/año)



(1) Otros consumos como por ejemplo cocinas u otros equipos no eléctricos

Fuente: IDAE; Informe GTR; Catastro; Análisis Monitor Deloitte

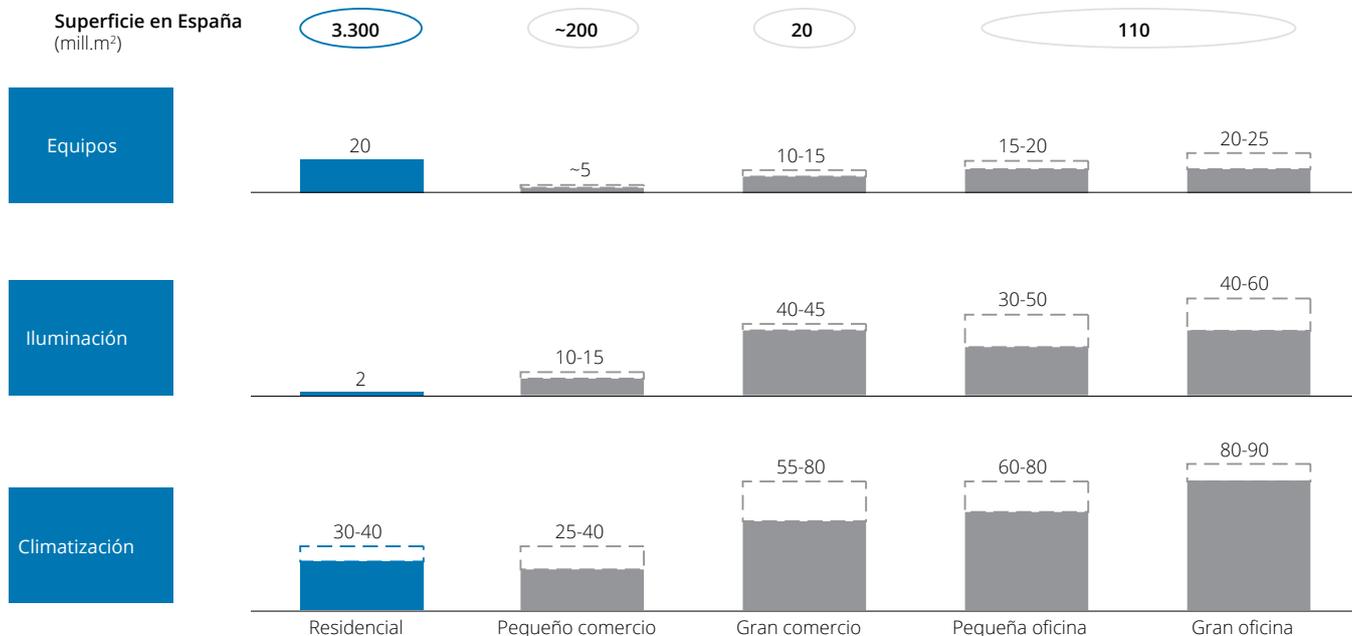
Las actuaciones más relevantes de sostenibilidad energética en el sector servicios son: sustitución de equipos de climatización por bomba de calor, mejora de la iluminación y, en función del edificio y la ciudad, el autoconsumo

- El pequeño comercio realiza consumos de climatización similares al residencial (ver Cuadro 34), ya que en una gran cantidad de casos se encuentra en los mismos edificios (locales comerciales localizados en la planta baja de un edificio residencial).
- Las oficinas y el gran comercio presentan consumos muy similares entre sí, predominando el consumo en climatización e iluminación.

En el sector servicios, las actuaciones de sostenibilidad energética presentan, en términos generales, menores barreras para su desarrollo que en el sector residencial:

- Con carácter general, los edificios del sector servicios (en especial los grandes edificios) suelen ser propiedad (o estar gestionados) por una única empresa o propietario (o, en cualquier caso, por un número reducido de ellos). Las decisiones de inversión no requieren poner de acuerdo a un número elevado de grupos de interés (por comparación con las comunidades de vecinos en el sector residencial), facilitando el proceso de implementación de las actuaciones.

Cuadro 34: Consumo de energía final por uso según el tipo de edificio
(kWh/m²)



- Las decisiones de inversión se toman atendiendo a criterios de racionalidad económica. Esto facilita la toma de decisiones de actuaciones que pueden requerir de una alta inversión, pero son rentables en el corto o medio plazo, frente a la decisión de un particular que queda desincentivado por el coste inicial a desembolsar.
- Debido a una mayor base de consumo de energía por unidad de superficie, los periodos de recuperación de la inversión de las actuaciones de sostenibilidad energética suelen ser menores.
- Existe una mayor tasa de renovación de los equipos y de los edificios por motivos de estética o de funcionalidad que en el sector residencial. Esta mayor rotación supone una oportunidad para introducir criterios de sostenibilidad energética en estas renovaciones.

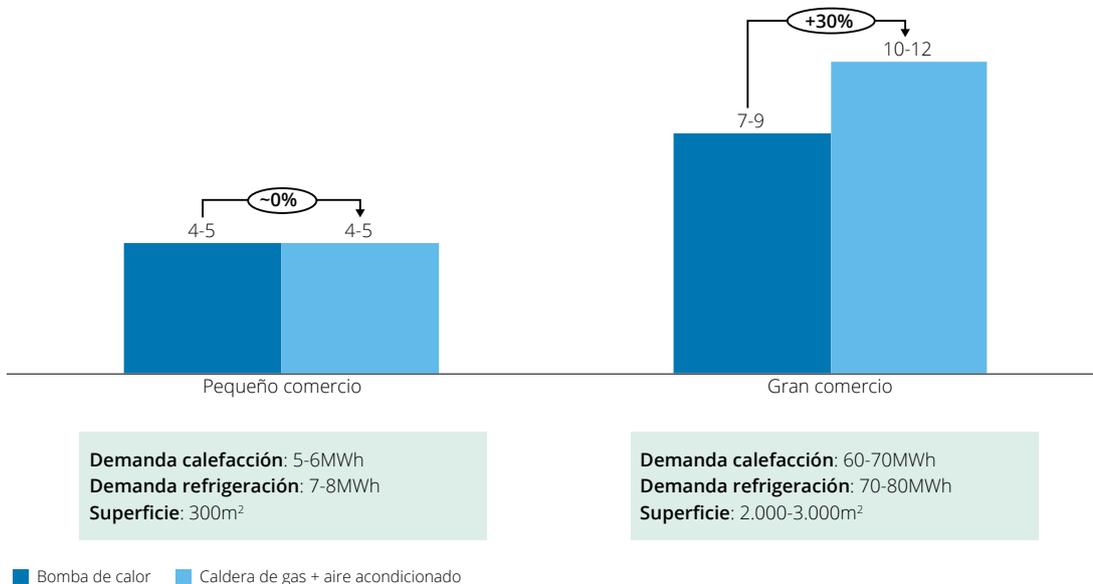
Puesto que los mayores consumos de oficinas y comercios están asociados a la climatización y a la iluminación, las actuaciones más relevantes de sostenibilidad energética serían: sustitución de equipos de climatización por bomba de calor, mejora de la iluminación y, en función del edificio y la ciudad, el autoconsumo.

Bomba de calor

La **bomba de calor** supone una opción mucho más competitiva en grandes superficies que en el sector residencial (puede suponer una diferencia de costes de hasta el 30%, ver Cuadro 35). Esto se debe a:

- Las grandes superficies comerciales y de oficinas cuentan con una mayor demanda de refrigeración, incluso en los meses fríos, debido a la concentración de personas durante sus horas de operación. Esto implica que la bomba de calor, que cubre las necesidades de calefacción y de refrigeración, sea más competitiva que disponer de un sistema dedicado a cada necesidad (calefacción, refrigeración).
- Al tener un mayor consumo de climatización por unidad de superficie que en el sector residencial, se recupera antes la inversión en la bomba de calor, ya que se generan mayores ahorros frente a una caldera térmica.
- Existen menos barreras arquitectónicas, como la reducida penetración de sistemas de calefacción con radiador, la existencia de cubiertas y falsos techos adecuados para su instalación o la mayor racionalidad a la hora de tomar decisiones en este sector, que facilitan la toma de decisión.

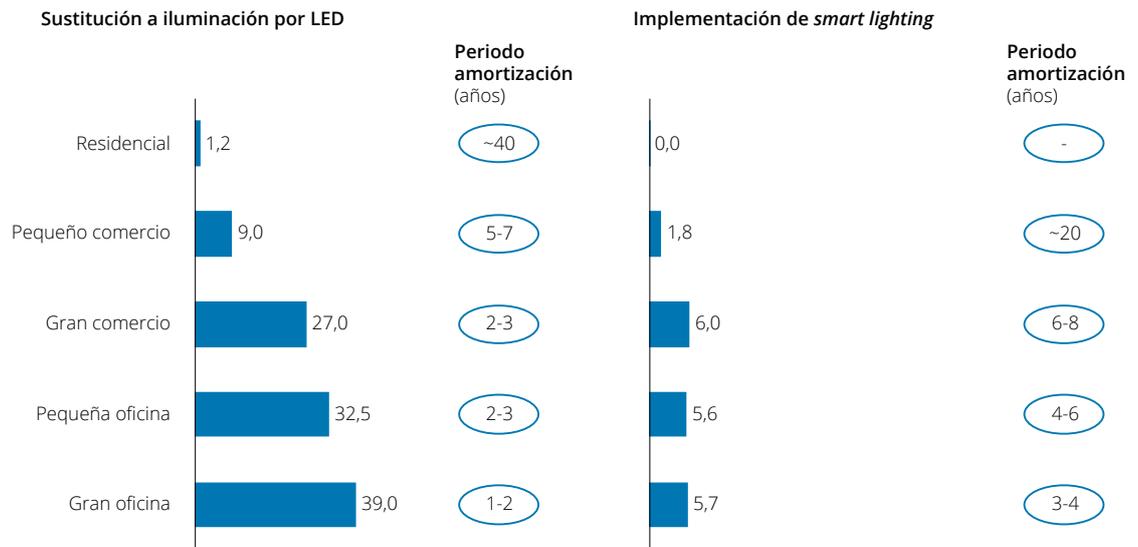
Cuadro 35: Coste total de abastecimiento de climatización según equipo empleado⁽¹⁾
(€/m²)



(1) Precio de la electricidad: 160€/MWh; precio del gas natural: 80€/MWh; eficiencia asumida bomba de calor/aire acondicionado: 300% (media de climas en España); eficiencia caldera de gas natural: 110%. Precio de bomba de calor pequeño comercio: 7.500€, bomba de calor comercial: 250.000€, aire acondicionado pequeño comercio: 2.500€, aire acondicionado comercial: 150.000€; precio de caldera de gas natural pequeño comercio: 2.500€; caldera de gas natural comercial: 150.000€. Los costes incluyen amortización de la inversión a 15 años.

Fuente: análisis Monitor Deloitte

Cuadro 36: Ahorro de consumo de iluminación según actuación⁽¹⁾
(kWh/m²)



(1) Superficies medias consideradas: residencial: 100m², pequeño comercio/oficinas: 300m², gran comercio/edificio oficinas: 2.500m². Capex iluminación LED: 9€/m². Capex Smart lighting: 12€/m². Ahorro iluminación LED: 60-65%. Ahorro Smart lighting: 20-25%. Precio de la electricidad: 180€/MWh.

Fuente: análisis Monitor Deloitte

De acuerdo con este mayor atractivo, se ha estimado que debe incrementarse el 30-40% de la superficie total del sector oficinas y comercio con sistemas de climatización basados en bomba de calor para el año 2030.

Iluminación LED y sistemas inteligentes

La **iluminación** es otro de los consumos con un mayor potencial de reducción en el sector servicios. Las dos actuaciones principales de sostenibilidad son: la sustitución a luminaria LED y la implantación de sistemas inteligentes de control de iluminación (*smart lighting*) (ver Cuadro 36).

- El cambio de equipos de iluminación a sistemas LED permite un ahorro del 70-80% del consumo, con unos costes de inversión de 9-10 euros/m² de superficie. Gracias al elevado consumo en iluminación en el sector servicios, el periodo de recuperación típico de esta inversión es 1-3 años.
- La implantación de sistemas de control inteligente de la iluminación posibilita una reducción de consumo del 15-30%, mediante el uso de equipos como detectores de presencia, interruptores temporizados, reguladores en función de la iluminación externa, sistemas de control centralizados, etc. El coste de inversión de esta actuación es de 10-15 euros/m², con un periodo de recuperación típico de esta inversión de 4-8 años.

Estos periodos de recuperación tan atractivos y las escasas barreras a su implantación implican que esta actuación debería desplegarse en el 90-100% de la superficie del sector servicios para el año 2030.

Autoconsumo

El potencial y el racional económico del autoconsumo en el sector servicios está muy ligado al tipo de edificio. En pequeñas oficinas y comercios, el potencial es muy similar al del sector residencial, debido a que en las ciudades suelen compartir edificio con viviendas. No obstante, en los grandes edificios de servicios (centros comerciales y grandes edificios de oficinas) el coste completo de generación es menor que en el sector residencial en las ciudades (ver Cuadro 37), debido a tres motivos:

- Este tipo de edificios suelen disponer de cubiertas más grandes y fácilmente accesibles, y el perfil de consumo está más alineado con la producción solar, lo que permite cubrir una mayor demanda sin necesidad de baterías o de vertidos a la red.
- Debido al mayor tamaño de las instalaciones, por el mayor espacio disponible por edificio, el coste de inversión de estas instalaciones es inferior que en el caso de autoconsumo en el sector residencial, pudiendo llegar incluso a menos de 1 euros/W, comparado con los 1,3-1,5 euros/W⁴² que requieren las instalaciones en el sector residencial.

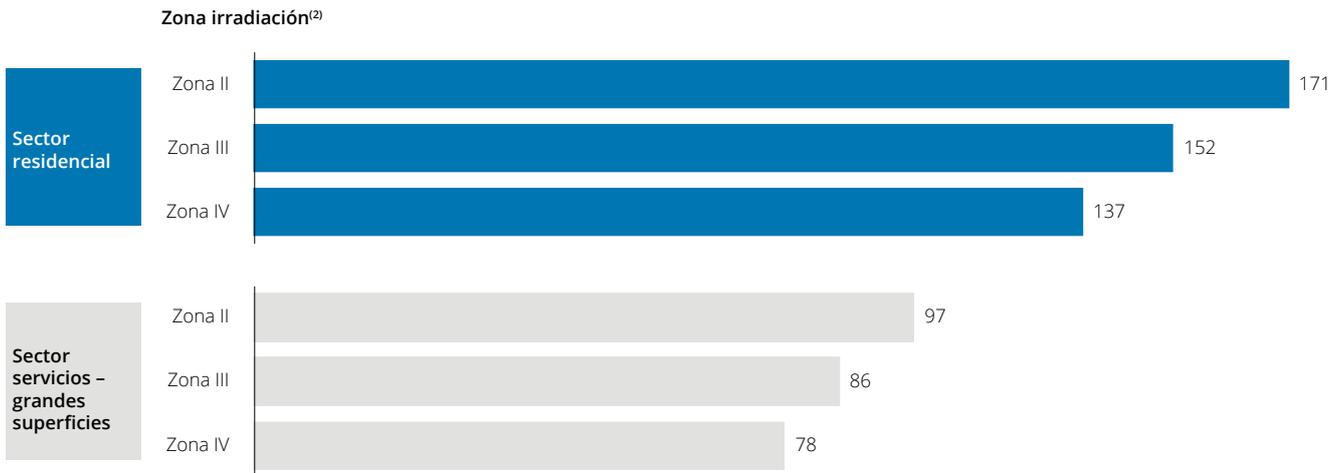
42 Fuente: NREL (National Renewable Energy Laboratory)

- El perfil de consumo de un edificio de grandes servicios está más alineado con las horas de producción solar, lo que incrementa la demanda cubierta por instalaciones de autoconsumo. En el caso hipotético de instalar la potencia necesaria para capturar todo el potencial en hora punta, la demanda cubierta por autoconsumo en el sector grandes servicios es un 10-20% superior al del sector residencial.

Con la capacidad actual de instalación de potencia de autoconsumo de $0,2\text{kW}/\text{m}^2$ ⁴³, un edificio de grandes servicios tipo puede abastecer el 15-25% de su consumo eléctrico a través de instalaciones de autoconsumo. En caso de instalar el 100% de la superficie disponible para ello en los edificios de servicios y oficinas de las ciudades analizadas (contabilizando únicamente grandes superficies), se evitarían el ~1% de las emisiones GEI de la ciudad en 2030.



Cuadro 37: LCOEs de autoconsumo en función de la irradiación solar⁽¹⁾
(€/MWh)



(1) Se han considerado instalaciones de 3,4 kW (sector residencial), 22,5 kW (grandes servicios). Capex de 0,8-1,7 €/W, Opex de 10 €/kW/año (sector residencial) y 5 €/kW/año (grandes servicios), 1.400-1.900 HEPC (considera irradiación, pérdidas y vertidos), degradación de 0,8% anual, 20 años de vida útil y tasa de descuento de 7%
(2) Zona II: 4,0kWh/m²; Zona III: 4,5 kWh/m²; Zona IV: 5,0 kWh/m², según el Real Decreto 314/2006

Fuente: IRENA; CNMC; IDAE; NREL; análisis Monitor Deloitte

43 Fuente: NREL (National Renewable Energy Laboratory)

Rehabilitaciones

Las rehabilitaciones en el sector servicios presentan un menor potencial de reducción de emisiones debido a la menor antigüedad de los edificios y, por tanto, a la menor mejora del aislamiento en caso de ejecutar esta actuación. En el sector residencial, más de un 50% de las viviendas son anteriores a 1980, e incluso en algunas ciudades como Barcelona ese porcentaje alcanza el 65%. En oficinas y comercios, únicamente el 35-40% de los edificios alcanza esta antigüedad (ver Cuadro 38).

A pesar del menor potencial, la tasa de renovación de edificios por motivos estéticos y funcionales en el sector servicios es mayor que en el sector residencial. Esta tasa más elevada supone una oportunidad para introducir criterios de sostenibilidad energética en estas renovaciones, y convertirlas en rehabilitaciones que mejoren la sostenibilidad energética de estos edificios.

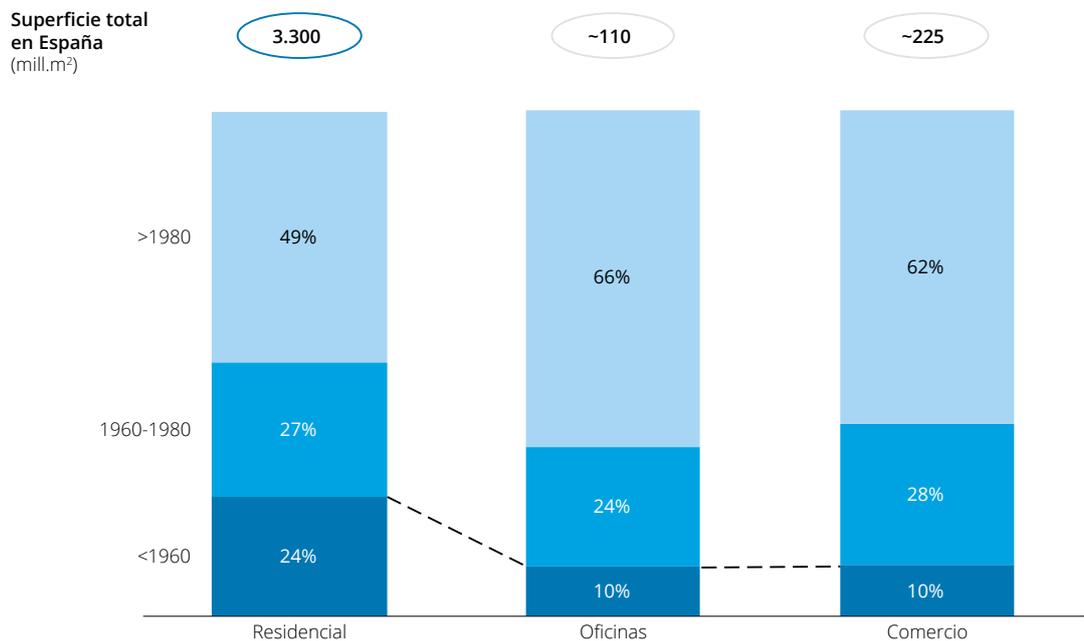
Se ha estimado que el ~10% de los m² del sector comercio y oficinas se debería rehabilitar hasta el año 2030 (equivalente al 25-30% de la superficie construida antes de 1980).

Consumos municipales: asegurar una iluminación eficiente, electrificar la flota municipal y mejorar la sostenibilidad de edificios municipales

El consumo de energía de los servicios municipales representa un porcentaje muy reducido del consumo total de una ciudad. Como ejemplo, en la ciudad de Madrid, el consumo municipal en iluminación pública representa menos del 1% del consumo de electricidad de toda la ciudad. Sin embargo, el sector público debe ejercer un rol ejemplarizante en la sostenibilidad energética urbana mediante el impulso de actuaciones de sostenibilidad que movilicen al resto de agentes de la ciudad.

La iluminación pública y las flotas de vehículos públicos (camiones de recogida de RSU, coches de servicios públicos, etc.) suponen los principales consumos

Cuadro 38: Antigüedad de la edificación en España según el sector
(%)



Fuente: Estrategia de Rehabilitación Ministerio de Fomento; análisis Monitor Deloitte

municipales, excluyendo el consumo de energía en edificios municipales, cuyas actuaciones son análogas a las recogidas en el análisis del sector servicios. Por lo tanto, se han analizado las siguientes actuaciones:

Mejora del alumbrado público

El alumbrado público de las ciudades españolas está aún dominado por lámparas de vapor sodio, siendo aún la penetración de tecnología LED reducida. Para mejorar la sostenibilidad del alumbrado público existen dos actuaciones principales: sustitución a luminaria LED e implementar sistemas de control inteligente del consumo.

- Las lámparas de tecnología LED permiten alcanzar ahorros de consumo del 60-70% y presentan una vida útil aproximadamente 10 veces superior a las lámparas convencionales de vapor de sodio o mercurio (ver Cuadro 39). Estos ahorros permiten compensar el mayor coste de las lámparas, y sitúan el periodo de recuperación de la inversión en menos de 5 años.
- Adicionalmente, existen sistemas inteligentes de gestión del consumo de iluminación pública, que optimizan su uso y reducen el consumo hasta un 40% adicional. Estos sistemas funcionan mediante sensores de presencia y regulación automática de la luminosidad en función de la presencia y de

la iluminación natural, o sistemas que permiten controlar el apagado y encendido de las lámparas de manera remota a nivel individual.

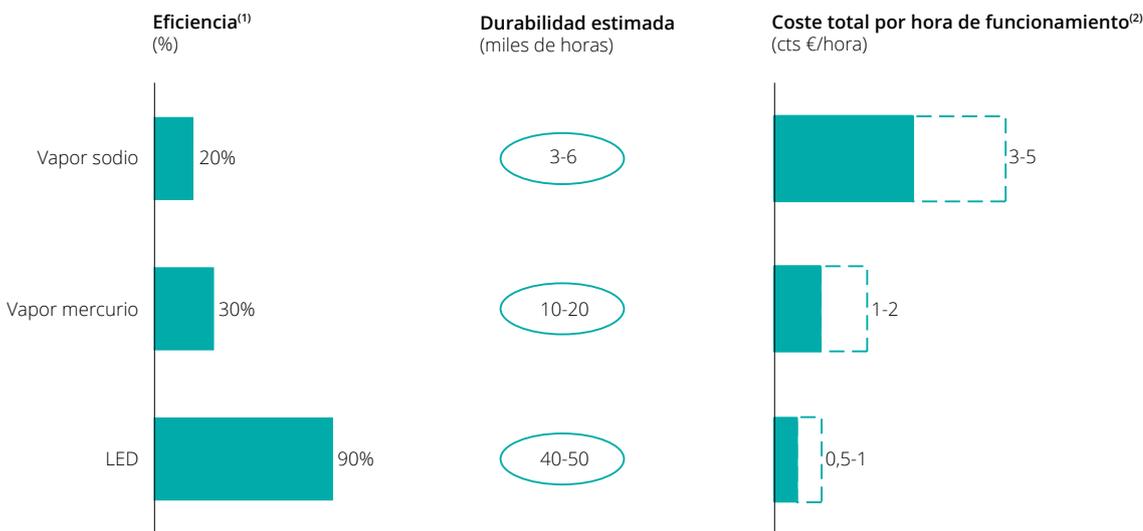
Flotas de vehículos municipales

En el caso de las flotas de vehículos municipales, debería impulsarse el objetivo de flotas de “cero emisiones” para los servicios municipales. Los servicios urbanos (vehículos oficiales, limpieza, saneamiento, mantenimiento o jardinería) podrían ser realizados en su mayoría por vehículos eléctricos, ya que presentan usos diarios por debajo de las autonomías actuales, altas utilizations (km/año) y cuentan con la posibilidad de tener puntos de carga en los aparcamientos municipales.

Autoconsumo en edificios municipales

El autoconsumo en edificios municipales, al igual que en el sector servicios, presenta un potencial ahorro en instalaciones con cubiertas adecuadas para la instalación de estos equipos (por ejemplo, colegios, polideportivos municipales, etc.). Algunos municipios están optando por promover instalaciones de generación renovables en las cercanías de las ciudades, donde puede aprovecharse el recurso natural de modo más eficiente que en los propios edificios municipales, consiguiendo abatir las mismas emisiones con un 5-20% menos de coste.

Cuadro 39: Comparativa de opciones de iluminación pública



(1) Medido como % de energía aprovechado como luz
 (2) Calculado como el capex total entre las horas de durabilidad

Fuente: ledbox; Ayto. Madrid; Ayto. Barcelona; Ayto. A Coruña; Ayto. Sevilla; análisis Monitor Deloitte

Cambiar el modelo energético requiere el apoyo de las Administraciones

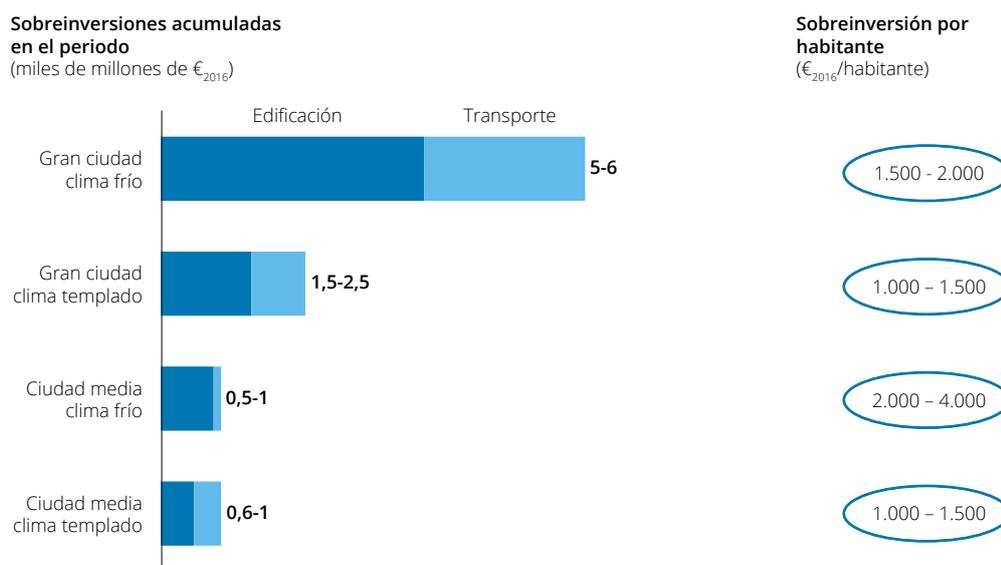
Son necesarios entre 1.000 y 4.000 euros por habitante de sobreinversión para conseguir el esfuerzo adicional de reducciones de emisiones

Las actuaciones adicionales para alcanzar el objetivo de reducción del 40% definidos en el Pacto de Alcaldes requerirán una sobreinversión⁴⁴ acumulada hasta el año 2030 de entre 1.000 y 4.000 euros por habitante, en función del arquetipo de ciudad. En una ciudad grande de clima frío como la ciudad de Madrid se requerirá entre 1.500 y 2.000 euros por habitante (5-6 mil millones de euros en total), mientras que, en una ciudad de tamaño medio con clima frío, esta inversión se situaría en 2.000-4.000 euros por habitante (0,5-1 mil millones de euros en total)(ver Cuadro 40).

A modo ilustrativo, estas sobreinversiones en el sector edificación se han estimado bajo los siguientes criterios:

- Sustitución a bomba de calor: diferencia de coste inicial de adquisición e instalación entre un sistema de bomba de calor y una caldera de condensación de gas natural.
- Sustitución anticipada a calderas de gas natural de condensación: coste inicial de adquisición de una caldera de gas natural de condensación.
- Renovación a electrodomésticos más eficientes (A+++): diferencia de coste entre un electrodoméstico A+++ y uno A++.

Cuadro 40: Sobreinversiones para implementar las actuaciones necesarias para cumplir los objetivos a 2030



Fuente: análisis Monitor Deloitte

⁴⁴ La sobreinversión se define como la diferencia de inversiones entre la opción considerada en el estudio como actuación energéticamente sostenible y la opción convencional (por ejemplo, diferencia de inversión entre un vehículo eléctrico y un vehículo convencional)

- Rehabilitaciones, sistemas de control y autoconsumo: coste total de la actuación.

En lo que respecta al transporte, el criterio seguido para la estimación de las sobreinversiones ha sido:

- **Renovación del parque de turismos:** diferencia entre el coste de un vehículo convencional nuevo y el valor residual del vehículo que se renueva.
- **Vehículo eléctrico:**
 - Para vehículos eléctricos adquiridos a partir de una renovación natural (única actuación de renovación natural incluida en estos análisis): diferencia entre el coste de un vehículo eléctrico y el de un vehículo equivalente con motor convencional.
 - Para aquellos derivados de una renovación de un vehículo antiguo antes del final de su vida útil: diferencia entre el coste de un vehículo eléctrico nuevo (prorrataado por la vida útil remanente del vehículo sustituido) y el valor residual del vehículo que se renueva.
- Respecto a las actuaciones de **cambio modal y movilidad inteligente** no se han considerado inversiones relevantes en las mismas. En el caso del cambio modal se ha considerado, de acuerdo a los análisis realizados (ver capítulo de transporte), que existe capacidad para incrementar el uso del transporte público en las ciudades analizadas con los porcentajes considerados sin necesidad de invertir en nuevas infraestructuras como nuevas líneas de metro o de ferrocarril de cercanías. Por tanto, las inversiones consideradas son aquellas relacionadas con el incremento del material rodante para dar servicio a la nueva demanda considerada.

Entre el 50 y el 80% de las emisiones abatidas vienen derivadas de actuaciones con un coste de abatimiento negativo

Con el objetivo de ofrecer una interpretación económica del esfuerzo adicional para cumplir los objetivos de reducción del 40% de emisiones a 2030, se han estimado las curvas de abatimiento para las ciudades analizadas (ver ejemplo ilustrativo en Cuadro 41, el resto de curvas se muestran en el anexo I). Una curva de abatimiento representa en el eje vertical el coste de abatimiento⁴⁵ de las actuaciones seleccionadas (€/2016/tCO₂eq) y en el eje horizontal las emisiones anuales abatidas en base a las estimaciones de penetración de cada actuación analizada en este estudio (ktCO₂eq/año).

Esta curva de abatimiento representa una herramienta adicional para analizar las actuaciones a desarrollar en cada arquetipo de ciudad. Sin embargo, no debería utilizarse como un método de priorización de actuaciones, ya que esta curva no recoge otros factores imprescindibles en el debate, tales como las barreras técnicas, regulatorias o de hábitos que cada actuación afronta. Adicionalmente, esta curva se ha realizado considerando una evolución tendencial de la tecnología y de los costes de las actuaciones⁴⁶, pero no recoge otros factores como posibles evoluciones tecnológicas disruptivas, cambios en el coste de los vectores energéticos (por ejemplo, un cambio en el modelo tarifario⁴⁷), incentivos o cambios en la fiscalidad.

De las curvas de abatimiento construidas para cada arquetipo de ciudad se pueden extraer algunas **conclusiones que permiten caracterizar el esfuerzo a realizar en el despliegue de estas actuaciones adicionales:**

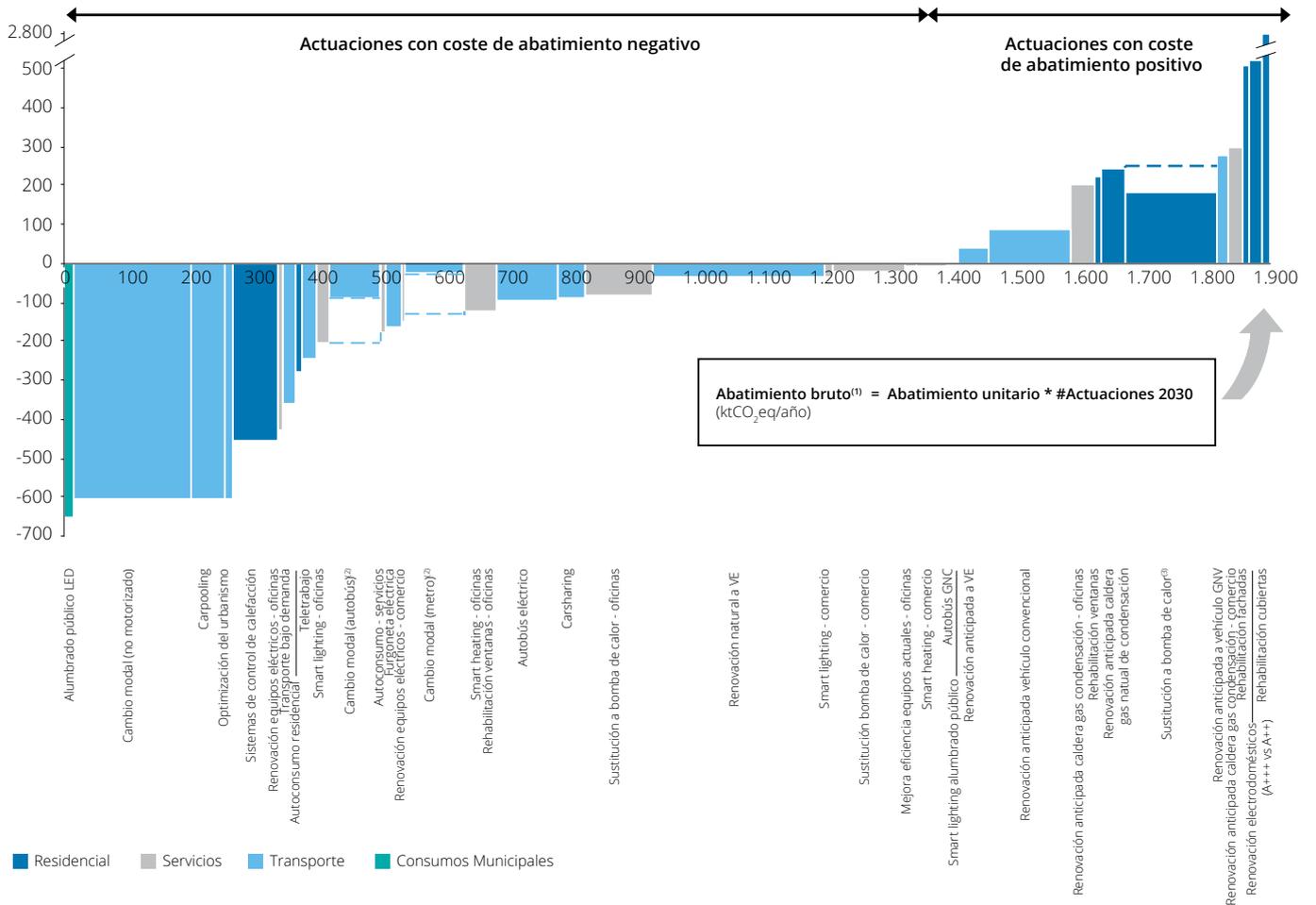
Son necesarios entre 1.000 y 4.000 euros por habitante de sobreinversión para conseguir el esfuerzo adicional de reducciones de emisiones

⁴⁵ Valor presente neto de la actuación analizada (considerando inversión y costes de operación y mantenimiento) menos el valor presente neto de su alternativa menos sostenible, dividido entre las emisiones abatidas. Se muestran únicamente las actuaciones adicionales para reducir un 40% las emisiones GEI a 2030

⁴⁶ Por ejemplo, se estima que a 2030 el coste de un turismo eléctrico se habrá reducido un 20-30% respecto a 2018

⁴⁷ A excepción, a efectos ilustrativos, del impacto del cambio tarifario sobre en la bomba de calor, debido al relevante impacto sobre la misma

Cuadro 41: Ejemplo de curva de abatimiento: ciudad grande clima frío
(€₂₀₁₆/tCO₂eq)



- (1) Abatimiento sin considerar efectos acumulados (p. ej., rehabilitación y bomba de calor en el mismo hogar)
- (2) El valor de la línea punteada representa el coste de abatimiento en caso de imputar a los usuarios la inversión necesaria en material rodante para atender el incremento de demanda
- (3) El valor de la línea punteada representa el coste de abatimiento en caso de una tarifa eléctrica revisada

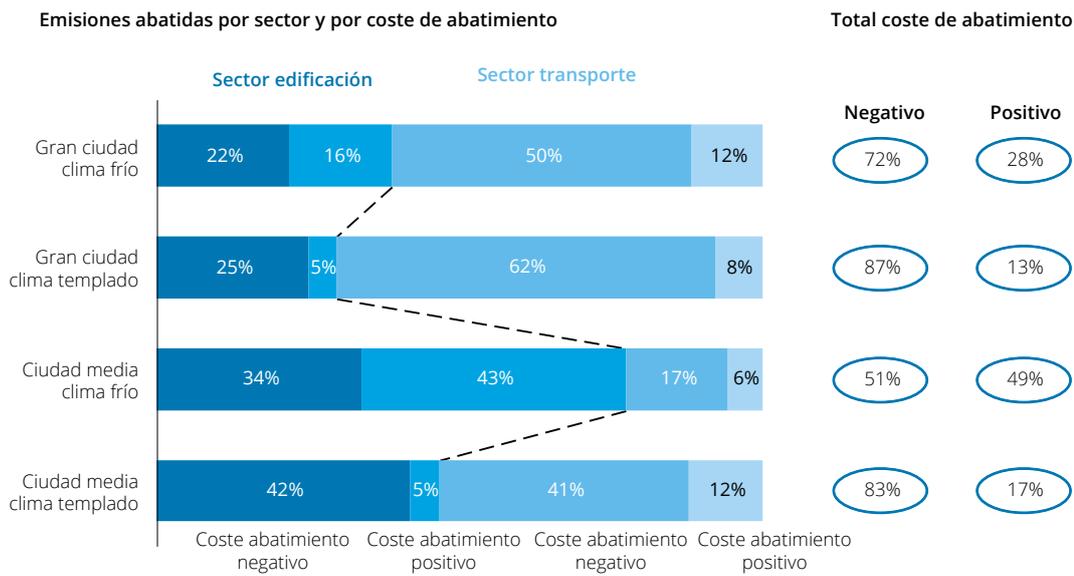
Fuente: Análisis Monitor Deloitte



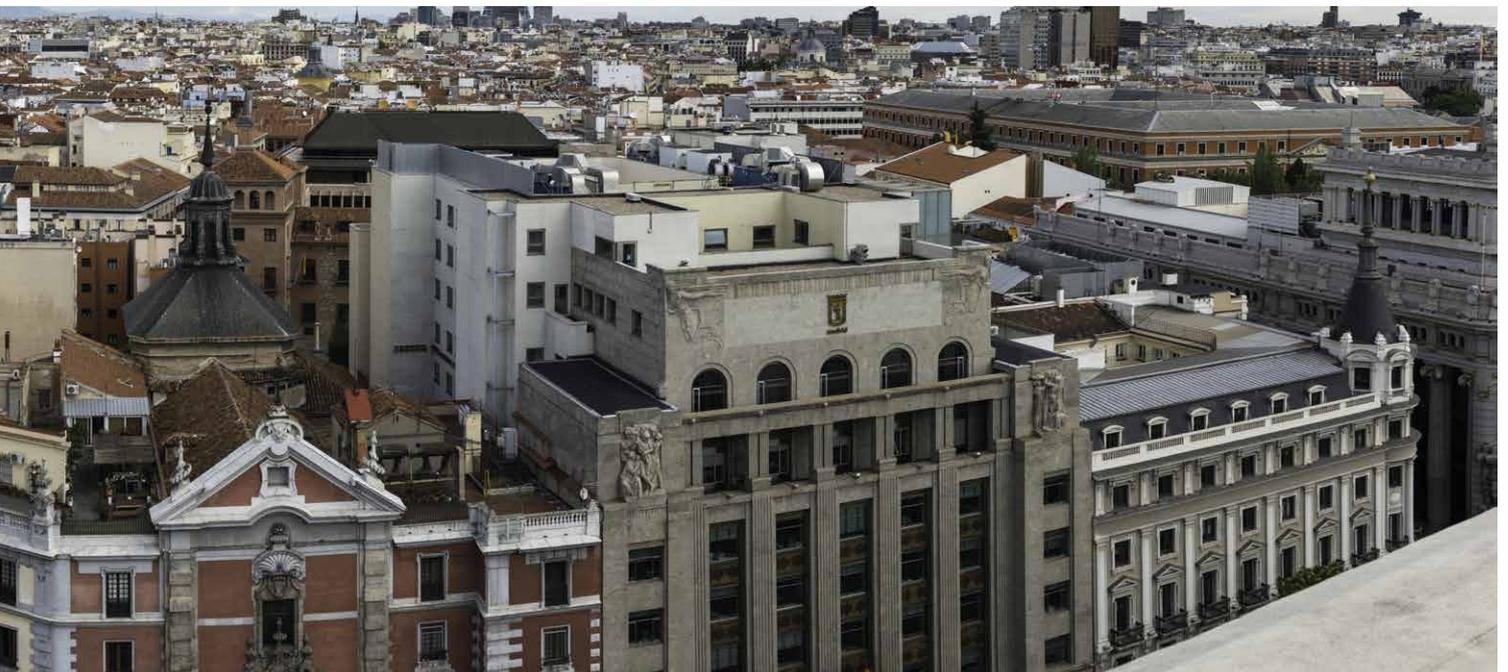
- Entre el **50 y el 80% de las emisiones abatidas vienen derivadas de actuaciones con un coste de abatimiento negativo** (actuaciones donde el valor económico de la energía ahorrada es mayor que la sobreinversión considerada) (ver Cuadro 42). Este resultado representa el hecho de que la mayoría de los equipos y tecnologías necesarios para realizar la transición energética urbana ya están disponibles y se estima que serán más competitivos que otras

opciones menos sostenibles. Por otro lado, el restante porcentaje depende de actuaciones que, en condiciones normales, no serían ejecutadas por ciudadanos y empresas, ya que suponen un mayor coste que otra actuación alternativa. Por lo tanto, estas últimas requieren un impulso regulatorio y normativo por parte de las Administraciones Públicas, que incentive la adopción de las mismas al nivel necesario.

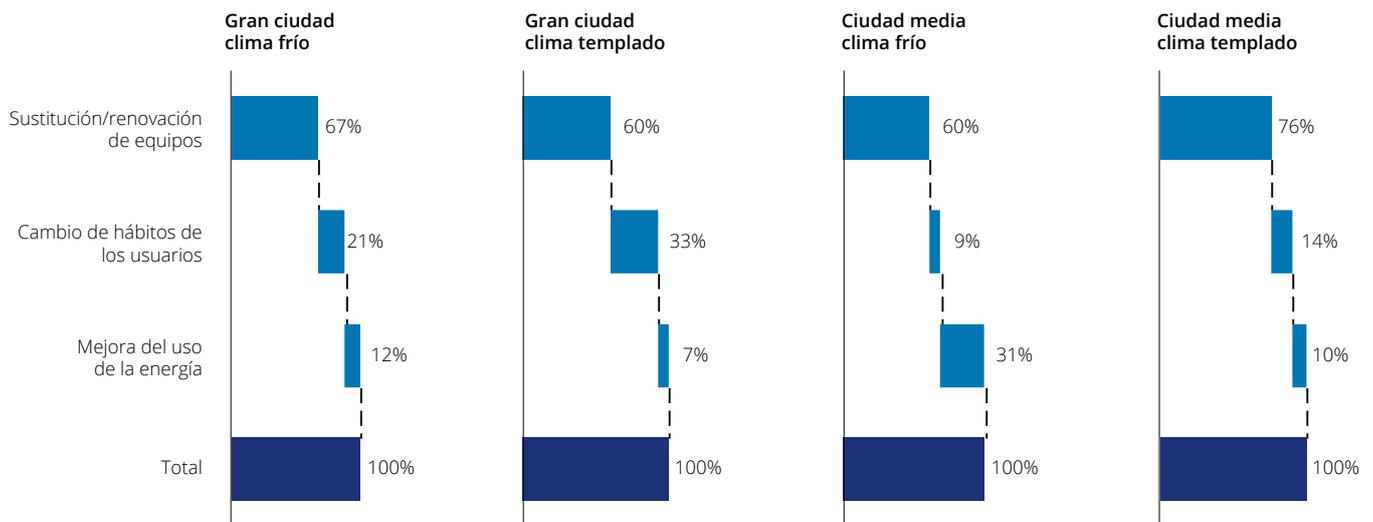
Cuadro 42: Desglose de emisiones abatidas por sector y coste de abatimiento



Fuente: análisis Monitor Deloitte



Cuadro 43: Abatimiento de emisiones por tipología de actuación (%)



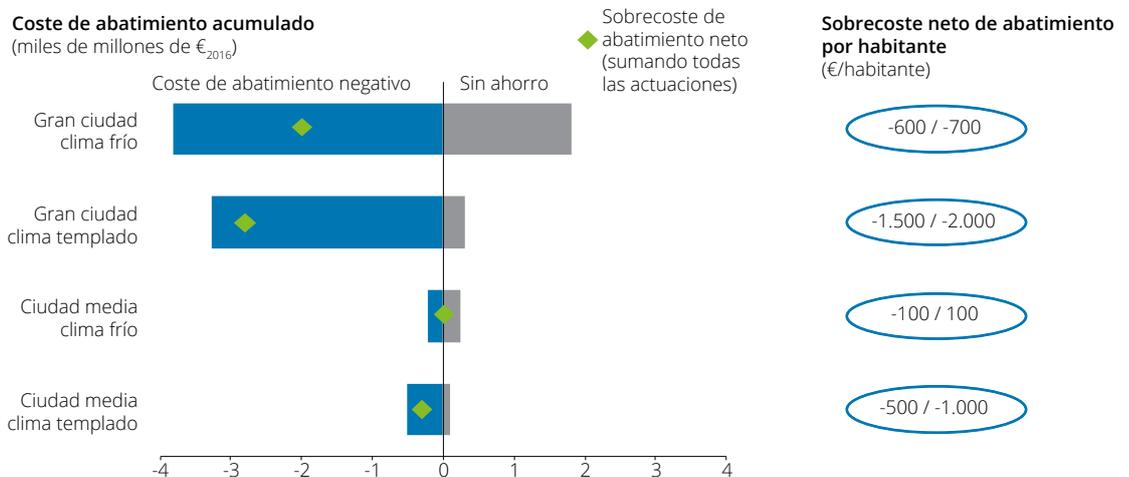
Fuente: análisis Monitor Deloitte

- La **mayoría de las emisiones adicionales abatidas (60-70%) vienen derivadas de actuaciones que suponen un cambio o una renovación de un equipo** (ver Cuadro 43), como, por ejemplo, el vehículo eléctrico, la renovación anticipada a vehículos convencionales más eficientes o el sustitución a bombas de calor.
- Existe **entre un 20 y un 30% de reducción de emisiones adicionales que dependen de cambios de hábitos de los usuarios**, que difícilmente ocurrirán sino se toman medidas que los incentiven ya que, aunque pueden ser rentables, requieren

un cambio de comportamiento en los ciudadanos que resulta complejo de modificar (por ejemplo, sustitución de un trayecto en vehículo particular por un trayecto en transporte público).

Se estima que el **beneficio de las actuaciones con coste de abatimiento negativo compensa el coste del resto de actuaciones con coste de abatimiento positivo**. En neto, **un ciudadano medio conseguiría un ahorro de hasta 2.000 euros⁴⁸ como resultado de las inversiones necesarias** para reducir las emisiones en las ciudades españolas y alcanzar el objetivo del Pacto de los Alcaldes (ver Cuadro 44).

Cuadro 44: Sobrecoste de abatimiento de las actuaciones necesarias



Fuente: análisis Monitor Deloitte

48 En función del tipo de ciudad este ahorro puede variar entre 0 y 2.000 euros

Recomendaciones para la sostenibilidad energética urbana

La transición requiere medidas que actúen en cuatro dimensiones del modelo energético de las ciudades

Las Administraciones Públicas son el elemento imprescindible en la transición energética en las ciudades ya que deben desarrollar las políticas apropiadas para que ciudadanos y empresas tomen las decisiones adecuadas que conduzcan a esta transformación. Las medidas presentadas a continuación están dirigidas principalmente a los ayuntamientos, aunque también se han determinado algunas, que, por su naturaleza o especial relevancia, deben ser impulsadas o activadas por otras Administraciones.

La transición energética en las ciudades españolas requiere medidas que actúen en cuatro ejes: i) establecer objetivos y modelos de gobernanza municipales para la reducción de emisiones y consumos, ii) impulsar nuevos modelos de movilidad sostenible basados en un mayor peso del transporte público y compartido, medios no-motorizados y tecnologías no contaminantes, iii) desarrollar actuaciones que incrementen la eficiencia energética y los usos de energías no emisoras en la edificación y iv) convertir a las Administraciones Municipales en un ejemplo de sostenibilidad en sus usos energéticos.

Establecer objetivos y modelo de gobernanza de sostenibilidad energética en cada municipio

La mayoría de las ciudades españolas no disponen de datos y estadísticas básicas sobre los consumos energéticos o emisiones producidas por los distintos sectores de actividad en sus municipios, o del equipamiento y características constructivas de los parques de edificios o de la movilidad de sus ciudadanos. Disponer de estos datos básicos es un pilar fundamental para conocer la situación de partida, para la definición de las estrategias municipales de sostenibilidad energética y para el seguimiento de las actuaciones puestas en marcha y el cumplimiento de los objetivos establecidos.

- Crear unidades organizativas responsables de dichos procesos en las Administraciones Locales y dotar de recursos especializados, en función del tamaño de la ciudad.
- Definir (o confirmar) los objetivos de sostenibilidad energética de cada ciudad a 2030 y 2050, de forma coherente con los objetivos medioambientales asumidos a nivel nacional.

Las Administraciones Públicas son el elemento imprescindible en la transición energética en las ciudades ya que deben desarrollar las políticas apropiadas para que ciudadanos y empresas tomen las decisiones adecuadas que conduzcan a esta transformación



Favorecer un transporte de pasajeros con mayor peso del transporte público, medios no-motorizados y fuentes de energía no contaminantes

La movilidad urbana está sufriendo (y va a seguir sufriendo en el futuro próximo) una profunda transformación. En muchas grandes urbes, los ciudadanos están comenzando a asumir que el modelo actual de posesión y uso de un vehículo privado, en muchos casos, es un lujo con un coste muy alto en contaminación, consumo energético y ocupación del espacio público. Por todo ello, es necesario fomentar el uso del transporte público, caminar, vehículos de movilidad personal (de una forma ordenada) y los nuevos modelos de movilidad inteligente. Asimismo, es necesaria una renovación del parque de vehículos antiguos por nuevos modelos más eficientes y por versiones eléctricas con menor impacto medioambiental (en media, ningún vehículo que circula hoy por nuestras ciudades debería estar en 2030). Las recomendaciones para el sector transporte son:

- Diseñar y aprobar planes estratégicos municipales de sostenibilidad energética que permitan el cumplimiento de los objetivos asumidos de reducción de emisiones GEI y de calidad del aire, adaptados a la tipología de consumos y especificidades de cada ciudad, que detallen las líneas de actuación sectoriales necesarias y con requerimientos de adopción en base temporal.
- Establecer modelos de gobernanza a nivel municipal coherentes y consistentes con el establecido a nivel autonómico, nacional y europeo, adaptados a las necesidades y especificidades municipales. Los modelos de gobernanza deberán activar los mecanismos que permitan:
 - Definir un reparto claro de roles y responsabilidades de los municipios con la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas para la definición, despliegue, evaluación periódica y coordinación de actuaciones.
 - Fortalecer los organismos y mecanismos de coordinación entre municipios, que permitan compartir experiencias, transferir know-how y coordinar actuaciones mediante acuerdos de colaboración, especialmente en grandes zonas metropolitanas.
- Implantar un índice que recoja el avance de las ciudades hacia la sostenibilidad energética y que permita identificar mejores prácticas.
- Realizar periódicamente estudios que permitan conocer los patrones de movilidad de los ciudadanos, incluyendo modos de transporte, trayectos, consumos y emisiones. La información de movilidad deberá estar registrada en bases de datos accesibles para su uso en la definición y seguimiento de los planes de movilidad.
- Definir planes de movilidad que permitan la reducción de emisiones y la mejora de la calidad del aire comprometida a 2030, con revisiones cada dos años. Estos planes deben establecer objetivos de reparto modal de transporte público, de transporte no motorizado y de transporte privado en vehículos no contaminantes.
- Definir planes específicos que permitan el desarrollo de las actuaciones definidas en los planes de movilidad:
 - Restringir el acceso de vehículos a centros urbanos en función de sus emisiones de elementos contaminantes (por antigüedad o etiquetado DGT).
 - Fomentar el cambio modal a transporte público mediante la ampliación del servicio a zonas/barrios con menor cobertura, aumentando la capilaridad y la frecuencia del servicio. Estas actuaciones deberán realizarse del modo más eficiente desde el punto de vista económico y aprovechando las infraestructuras ya existentes en la medida de lo posible.

- Facilitar el uso de modos de transporte no motorizados, mediante la expansión y mejora de la red de itinerarios peatonales, desarrollo de redes de carriles exclusivos para bicicletas en las principales vías urbanas y zonas de aparcamiento para bicicletas en nudos relevantes para la movilidad (por ejemplo, intercambiadores).
- Potenciar la intermodalidad de los diferentes modos de transporte mediante el desarrollo y la adaptación de las infraestructuras necesarias en las grandes ciudades (aparcamientos disuasorios en las entradas de las ciudades, líneas de autobús específicas con origen-destino en intercambiadores, etc.).
- Realizar campañas informativas y de concienciación sobre los objetivos comprometidos y los plazos de consecución, así como los beneficios para la calidad del aire y la mejora de la movilidad en las ciudades.
- Desarrollar normativa que facilite el despliegue de modelos de negocio de movilidad inteligente (carsharing, carpooling, etc.), especialmente en las grandes ciudades. Obligar a que estos modelos se desarrollen con movilidad eléctrica y de modo integrado con otros modos de transporte, por ejemplo, mediante el uso de plataformas de *Mobility-as-a-Service* que integren carsharing y transporte público.
- Fomentar la penetración de vehículos eléctricos y de retirada de vehículos antiguos (tanto para turismos como para vehículos comerciales de transporte ligero):
 - Objetivos anuales de penetración de vehículos eléctricos y de retirada de vehículos antiguos, adaptados a las características de cada ciudad.
 - Planes de restricción de acceso y circulación de vehículos antiguos, en función de sus emisiones GEI y de elementos contaminantes (incluido en la definición del plan de actuación).
 - Establecer incentivos a la adquisición de vehículos eléctricos mediante exenciones fiscales (IVA, impuesto de matriculación, de circulación, etc.) mientras este tipo de vehículos tenga costes superiores a sus equivalentes convencionales.
 - Desincentivar la posesión de vehículos antiguos (más contaminantes) incrementando la fiscalidad a aplicar (impuesto de circulación, tasas de parking, etc.).
- Fomentar el desarrollo de la infraestructura de carga de vehículo eléctrico privada y de acceso público, incluyendo:
 - Establecer objetivos de infraestructura pública de carga y planes de despliegue, alineados con los objetivos de evolución del parque de vehículos eléctricos. Los objetivos se deberían diseñar en función de las competencias de cada nivel administrativo, e incluirán mecanismos de coordinación entre administraciones para su despliegue.
 - Facilitar el desarrollo de la infraestructura de carga de acceso público en las ciudades por parte de entidades municipales y otras administraciones:
 - » Facilitar las cesiones de suelo público para instalaciones de recarga rápida o las autorizaciones administrativas para realizar acometidas en entornos urbanos.
 - » Establecer un modelo de despliegue para la infraestructura de recarga, atendiendo a tres modelos básicos: i) público (infraestructura desarrollada por la Administración Local), ii) privado con incentivos públicos, o iii) mediante la participación de operadores de redes. En relación con este último, se deberán desarrollar los procedimientos de concurrencia para impulsar su participación cuando no exista interés en el sector privado.
 - Impulsar mecanismos para reducir las barreras al desarrollo de la ampliación de acometidas para recarga privada en bloques de viviendas:
 - » Modificar normativas que pueden contribuir a fomentar y optimizar las inversiones en recarga privada, como, por ejemplo, la Ley de Propiedad Horizontal o el Reglamento de Baja Tensión, asegurando que todos los nuevos edificios llevan preinstalación para la infraestructura de carga en todas las plazas de garaje.
 - » Desarrollar planes de incentivos económicos para ampliar las acometidas en bloques de viviendas que requieran.
- Establecer obligaciones para que los centros de trabajo de más de 50 empleados desarrollen planes corporativos de movilidad sostenible. Estos planes han de incluir un análisis de los hábitos de desplazamiento de los trabajadores y definir actuaciones corporativas para mejorar su sostenibilidad (por ejemplo, impulso del teletrabajo, flexibilización de horario laboral, infraestructura de carga de VE en centros de trabajo).

Los edificios que hoy se construyen y reforman seguirán existiendo más allá del año 2050, por lo que es importante asumir que lo que hoy hacemos “hipoteca” el futuro de nuestro parque de edificios

- Desarrollar un plan específico para la implantación de vehículos menos contaminantes en el transporte público:
 - Establecer el objetivo de que todos los nuevos autobuses urbanos de las principales ciudades españolas sean eléctricos a partir del año 2030.
 - Establecer un calendario de sustitución de autobuses antiguos por autobuses nuevos menos contaminantes.
 - Fomentar el intercambio de conocimiento y capacidades entre empresas municipales de transporte, para reducir el coste global de desarrollo de la movilidad eléctrica.
- Establecer incentivos económicos a programas municipales de I+D relacionados con el desarrollo y la implantación de sistemas de autobús eléctrico urbano (por ejemplo, creación de líneas piloto, desarrollo de sistemas de recarga en ruta, etc.).
- Fomentar que se adapten las actuales tarifas eléctricas para que sean una señal de precio eficiente para que la carga eléctrica se realice en períodos de bajo uso de la red eléctrica, y manteniendo los principios de suficiencia tarifaria.

Desarrollar actuaciones que incrementen la eficiencia energética y las fuentes limpias en la edificación

Los edificios que hoy se construyen y reforman seguirán existiendo más allá del año 2050, por lo que es importante asumir que lo que hoy hacemos “hipoteca” el futuro de nuestro parque de edificios. Esto implica que es prioritario introducir criterios de sostenibilidad energética en cualquier actuación en edificios residenciales y de servicios desde hoy mismo. Las recomendaciones para el sector de edificación son:

- Definir planes de actuación a nivel municipal, que aseguren la reducción de consumos, de emisiones y la calidad del aire para cumplir los objetivos. Estos planes deberían incluir:

- Elaborar un inventario del parque de edificios que permita, con el nivel de detalle apropiado, conocer las soluciones arquitectónicas y constructivas utilizadas, y los equipamientos eléctricos y térmicos (calefacción y ACS) instalados.
 - Identificar las actuaciones prioritarias (por ejemplo, cambios a equipos térmicos eficientes, sustituciones por bomba de calor, rehabilitaciones, sistemas de control de climatización) para cada segmento del parque de edificios, con un análisis de su potencial de abatimiento y barreras.
 - Definir objetivos de desarrollo de cada actuación a 2025 y 2030, que permitan cumplir con los objetivos de sostenibilidad energética asumidos por la ciudad. Deben definirse mecanismos de seguimiento para tomar las acciones correctoras necesarias.
 - Desarrollar planes de inversión por cada municipio, considerando los objetivos de cada actuación a 2025 y 2030. Los planes deberán incluir una identificación de los recursos públicos y privados a ser dedicados en cada periodo, según un análisis de los costes de las actuaciones.
 - Definir e implantar las medidas concretas: cambios normativos o incentivos económicos (por ejemplo, reducción de coste de licencias de obra, subvenciones, bonificaciones fiscales, etc.).
- Implantar un objetivo de que el 100% de los edificios posean certificados energéticos en 2030. Estos certificados energéticos deberían modificarse para incluir una identificación de las actuaciones de sostenibilidad energética a desarrollar en el edificio.
 - Lanzar campañas de divulgación a inquilinos y propietarios de inmuebles sobre las medidas consideradas en los planes de actuación de edificios, sus beneficios y las ayudas e incentivos existentes (por ejemplo, reducciones de costes de licencias de obra, subvenciones, bonificaciones fiscales, etc.), incluyendo plazos y trámites.

- Establecer un calendario para la restricción de comercialización de equipos de calefacción y ACS, climatización, iluminación y equipos eléctricos no eficientes, por ejemplo, en base a la clase energética del equipo. Esta actuación deberá realizarse en coordinación con agentes clave del mercado (fabricantes, proveedores, instaladores y empresas de servicios energéticos) y resto de Administraciones Públicas.
- Promover que las rehabilitaciones en edificios se realicen con criterios de sostenibilidad energética (es decir, aprovechar la rehabilitación del edificio para incluir actuaciones de eficiencia energética), mediante el desarrollo de incentivos y ayudas que faciliten al propietario la decisión de sobreinversión necesaria para realizar la rehabilitación bajo estos parámetros.
- Complementar el Código Técnico de la Edificación para edificios nuevos para que establezca límites restrictivos de consumo energético, según zona climática, que hagan necesaria la implantación de soluciones altamente eficientes y de emisiones directas nulas (actuación a nivel estatal).
- Fomentar que se adapten las actuales tarifas eléctricas para que sean una señal de precio eficiente que no penalice innecesariamente la adopción de equipos eléctricos frente a otros vectores menos sostenibles. La tarifa eléctrica debe recoger los costes reales del suministro, eliminando los sobrecostes ajenos al servicio, y mantener los principios de suficiencia tarifaria.
- Establecer un calendario de penetración de vehículos eléctricos para turismos y para vehículos pesados de la flota municipal, en función de las capacidades de cada ciudad. Este calendario debe definir que todos los nuevos turismos de flota municipal a partir de 2025 deben ser cero emisiones, mientras que, para los vehículos pesados, esta obligación debe establecerse a partir de 2030.
- Establecer un calendario específico en cada ciudad para que la flota de taxis y vehículos con licencia VTC sean eléctricos a partir del año 2022-2025. Para ello, será imprescindible facilitar el despliegue puntos de carga rápida para esta tipología de vehículos.

Convertir a las Administraciones Municipales en un ejemplo de sostenibilidad en sus usos energéticos

Las Administraciones Municipales como consumidores representan una parte pequeña del consumo de la ciudad, pero es necesario que ejerzan un rol ejemplarizante frente a los ciudadanos en dicho consumo. Por ello, requieren implementar cambios que mejoren la sostenibilidad energética de edificios públicos, iluminación urbana, flotas de vehículos municipales y flotas de vehículos de servicio público (taxis/VTC) que circulan en la ciudad. En concreto, las recomendaciones para los consumos de las Administraciones Municipales son:

- Renovar sistemas de iluminación municipales para que el 100% de la iluminación municipal sea con tecnología LED en 2030. Incentivar el despliegue de sistemas de gestión inteligente, especialmente en zonas donde pueda suponer ahorros más significativos para el municipio.



Un Índice de Ciudades Energéticamente Sostenibles permitiría seguir el progreso hacia la sostenibilidad energética urbana

Necesidad de un índice para medir la sostenibilidad energética de las ciudades

Una de las recomendaciones propuestas es la elaboración de un índice que permita medir el grado de sostenibilidad energética de las ciudades españolas, realizar el seguimiento de su evolución y la efectividad de las medidas que pongan en marcha las ciudades para lograr el objetivo de reducción de emisiones y de sostenibilidad definido. Hasta el momento, no se ha implantado ningún índice que permita medir dichas variables, por lo que, con este objetivo, se ha definido un índice cuya adopción y uso por parte de los gestores públicos permitirá:

- Medir la sostenibilidad energética de cada ciudad e identificar referentes en los ámbitos clave de la sostenibilidad, fomentando la transferencia de conocimiento entre ciudades.
- Entender los esfuerzos necesarios para cumplir con los objetivos de sostenibilidad a 2030, y la progresión a lo largo del tiempo.
- Enfocar esfuerzos en aquellas áreas con mayor impacto en la mejora de la sostenibilidad energética urbana.

Definición de la sostenibilidad energética urbana

La sostenibilidad energética urbana se asienta sobre cuatro pilares:

- El apoyo de las Administraciones Públicas: que implica el compromiso con los objetivos de sostenibilidad y el seguimiento de su cumplimiento mediante actuaciones, así como su propio rol ejemplarizante con actuaciones en sus propios consumos energéticos.

- La eficiencia en el consumo de energía final: en el sector transporte, implicará un mayor uso del transporte público y de medios no motorizados; mientras en el sector edificación, la renovación o sustitución de equipos y un incremento de las rehabilitaciones con criterios energéticos, entre otras.
- La reducción del impacto en la ciudad del consumo de energía: entre lo que se encuentra la mejora de la calidad del aire y la reducción de las emisiones GEI directas, mediante el uso de vectores energéticos menos emisores o sin emisiones.
- El consumo de energía con origen renovable, y con un nivel adecuado de asequibilidad y calidad.

Existen otros aspectos relevantes que impactan en la sostenibilidad energética de una ciudad, como la gestión de residuos, pero que no se han considerado en el índice propuesto ya que no han sido objeto de análisis en este estudio. En él, nos hemos centrado en aquellos factores de sostenibilidad energética urbana con un impacto más relevante en el consumo energético de la ciudad.

El Índice de Ciudades Energéticamente Sostenibles (ICES)

A partir de los 4 pilares de sostenibilidad definidos previamente, se han desarrollado una serie de indicadores que permitan estimar el grado de desarrollo de cada ciudad en dichos pilares. Estos indicadores se han elegido atendiendo a su representatividad sobre el pilar y a la sencillez y facilidad para su obtención o estimación. A continuación, se listan estos indicadores para cada pilar:

- Apoyo de las Administraciones Públicas. En este bloque se proponen los siguientes indicadores:

- La existencia de un programa periódico de medición del consumo de energía y de las emisiones, segmentado por sectores de actividad y por vector energético, de acuerdo con una metodología estandarizada.
- La existencia de objetivos municipales de sostenibilidad energética urbana, su nivel de ambición de reducción y si se realiza un seguimiento periódico de los mismos.
- La disponibilidad de información pública sobre la inversión económica destinada a sostenibilidad energética y la cuantía de dicha inversión en relación al número de habitantes.
- La ejemplaridad pública, reflejada en la calificación energética del parque municipal de edificios, el porcentaje de autobuses eléctricos y de bajas emisiones, y de coches de servicios municipales eléctricos y la penetración de iluminación con tecnología LED en el alumbrado público.

- Eficiencia en el consumo de energía final, según indicadores relacionados con los sectores clave en las ciudades.

- Para el sector de la edificación:
 - » Consumo energético unitario en residencial y servicios (corregido por temperatura).
 - » Calificación energética media de los edificios de la ciudad, tanto del sector residencial como del sector servicios.
- Para el sector del transporte:
 - » El consumo de energía del sector transporte por habitante.
 - » El porcentaje de reparto modal de transporte de pasajeros entre transporte público, medios no motorizados y vehículo privado.
 - » La antigüedad media del parque de vehículos convencionales.

- Reducción del impacto en la ciudad del consumo de energía, según indicadores relacionados con emisiones GEI directas y calidad del aire.

- En el caso de emisiones GEI directas:

- » Para el sector edificación: porcentaje de consumo energético en edificación de combustible fósil (gas natural, productos petrolíferos, carbón) y electricidad
- » Para el sector transporte: porcentaje de vehículos eléctricos sobre el total de los vehículos de la ciudad.

- En el caso de calidad del aire, dada la dificultad de separar por sectores, se considera el dato agregado de las mediciones en las ciudades de concentración de NO_x y de partículas.

- Consumo de energía renovable, asequible y de calidad. En este bloque se proponen los siguientes indicadores:

- El porcentaje de consumo eléctrico de la ciudad generado en instalaciones renovables localizadas en la misma. También deberían computarse aquellas instalaciones desarrolladas fuera de los límites del propio municipio, pero promovidas por Administraciones Municipales.

- La asequibilidad de la energía, medida como el porcentaje de renta media por hogar que se destina a consumo de energía.

Metodología de cálculo de Índice

Para el cálculo del valor del índice en una ciudad determinada, es necesario definir:

- El peso relativo de cada uno de los pilares (y de los indicadores dentro de cada pilar) en el valor final del índice. Estos valores deben reflejar la diferente importancia relativa que cada pilar, y cada indicador, debería tener sobre la sostenibilidad energética urbana.
- Los valores de referencia de cada indicador, para poder puntuar de 0 a 100 cada ciudad en función del valor de cada indicador.
 - El 100 debería otorgarse a aquel valor del indicador que reflejase una ciudad sostenible energéticamente en 2030, incluyendo el cumplimiento de reducción de emisiones objetivo del Pacto de los Alcaldes. Así, el valor de índice final (entre 0 y 100) indicaría la distancia de cada ciudad

analizada a una ciudad ideal en 2030 (ver Cuadro 45). Posteriormente (tras 2030) este valor, así como el valor del índice entero, debería recalcularse para reflejar la distancia hasta el siguiente año referencia que se desee plantear.

- El valor 50 debería otorgarse a aquel valor que reflejase una ciudad media que en la actualidad se encuentre en la senda de sostenibilidad energética (por ejemplo, que se están ya realizando las actuaciones más significativas de sostenibilidad) (ver Cuadro 45).
 - El valor 0 debería reflejar variables cuya información no se recopila por parte de las Administraciones, ya que esta medición supone el primer paso a tomar a la hora de abordar las medidas de sostenibilidad energética urbana. En el caso de la calidad del aire, el valor 0 también se otorgaría a aquellas ciudades cuyo valor de calidad del aire incumple la normativa europea sobre concentración de elementos contaminantes.
- A la hora de asignar el valor (0-100) a cada indicador, se distinguen dos tipos de indicadores:
 - Indicadores con valores discretos: indicadores que únicamente pueden tomar un valor de entre un conjunto de valores preestablecido (por ejemplo 0, 25, 50, 75 o 100). Por ejemplo, el indicador de programa periódico de medición del consumo de energía y de las emisiones. El valor 0 se asigna a ciudades que no dispongan de ningún tipo de medición, el valor 25 a ciudades que dispongan de una medición, pero no actualizada anualmente, el valor 50 cuando exista una medición que se actualice al menos cada 2 años, etc.
 - Indicadores con valores continuos: indicadores que pueden tomar cualquier valor entre 0 y 100, y que se calculan a partir de la interpolación del valor 0, el valor 50 y el valor 100. Por ejemplo, en el indicador de edad media del parque de automóviles, el valor 50 sería 10 años, el valor 100 sería 6 años. Una ciudad con un parque con antigüedad de 8,2 años tendría un valor del indicador de 77 puntos.
- Tanto los valores de los pesos de cada pilar como los valores de referencia definitivos para cada indicador deberán acordarse durante la fase de implantación del Índice.



Cuadro 45: Detalle de indicadores del Índice de Ciudades Energéticamente Sostenibles

		Valor 2016 (Puntuación 50)	Valor 2030 (Puntuación 100)	
 Apoyo de las Administraciones Públicas	Medición de consumo energético y emisiones	Medición actualizada anualmente	Medición actualizada anualmente; segmentada por sectores y vectores; elaborado con guías oficiales	D
	Objetivos de sostenibilidad energética	Objetivos a 2030; con ambición superior al 40%; segmentados por sector; con mecanismos de seguimiento		D
	Inversión económica destinada a sostenibilidad energética	Inversión por habitante necesaria; estimada para cada arquetipo de ciudad		C
	Ejemplaridad pública: calificación energética parque edificios municipal	50% del parque municipal con calificación energética B o superior	>80% del parque municipal con calificación energética B o superior	C
	Ejemplaridad pública: autobuses municipales eléctricos y gas natural	20% de la flota de autobús de gas natural; 5% de autobús eléctrico	50% de la flota de autobús de gas natural; 30% de autobús eléctrico	C
	Ejemplaridad pública: vehículos municipales cero emisiones	10% del parque de vehículos municipales	80% del parque de vehículos municipales	C
	Ejemplaridad pública: iluminación LED	50% de puntos de luz con iluminación LED	100% de puntos de luz con iluminación LED	C
 Eficiencia en el consumo de energía	Edificación: consumo energético unitario (corregido por temperatura)	Media ciudades analizadas	Valor para alcanzar objetivos de reducción del 40%	C
	Edificación: calificación energética media edificios (residencial y servicios)	5% del parque de edificios con calificación energética C o superior	20% del parque de edificios con calificación energética C o superior	C
	Transporte: consumo de energía en transporte por habitante	Media ciudades analizadas	Valor para alcanzar objetivos de reducción del 40%	C
	Transporte: reparto modal	Valores actuales de cada ciudad	+5 p.p. de cambio modal a tte. público; +5 pp. de cambio modal a no motorizado	C
	Transporte: antigüedad media del parque de turismos	10 años de antigüedad media del parque de vehículos	6 años de antigüedad media del parque de vehículos	C
 Reducción del impacto del consumo de energía	Edificación: % consumo energético combustible fósil y electricidad	60% de consumo eléctrico; 40% de combustible fósil	80% de consumo eléctrico; 20% de combustible fósil	C
	Transporte: % vehículos eléctricos sobre el total del parque	5% del parque de vehículos	30% del parque de vehículos	C
	Calidad del aire: concentración NO _x y partículas	Valor 0: superación del límite legal actual	50% respecto a los límites legales actuales de concentración	C
 Energía renovable, de calidad, accesible y asequible	% del consumo de electricidad generado en la ciudad	1% de energía autoconsumida sobre el consumo total eléctrico de la ciudad	5% de energía autoconsumida sobre el consumo total eléctrico de la ciudad	C
	Asequibilidad del suministro (% renta por hogar destinada a energía)	15% sobre la renta total	10% sobre la renta total	C

D Indicadores con valores discretos
 C Indicadores con valores continuos

Estimación ilustrativa del Índice de Ciudades Energéticamente Sostenibles

La implantación efectiva del Índice requiere la colaboración de los Ayuntamientos para recopilar la información en cada una de las dimensiones analizadas. A efectos ilustrativos, se ha realizado un primer cálculo del índice y la media aritmética del mismo, para las ciudades analizadas, es 39 (la ciudad con el valor más bajo es 28 y el más alto 43). Los rangos en los que se mueven los diferentes componentes del índice son:

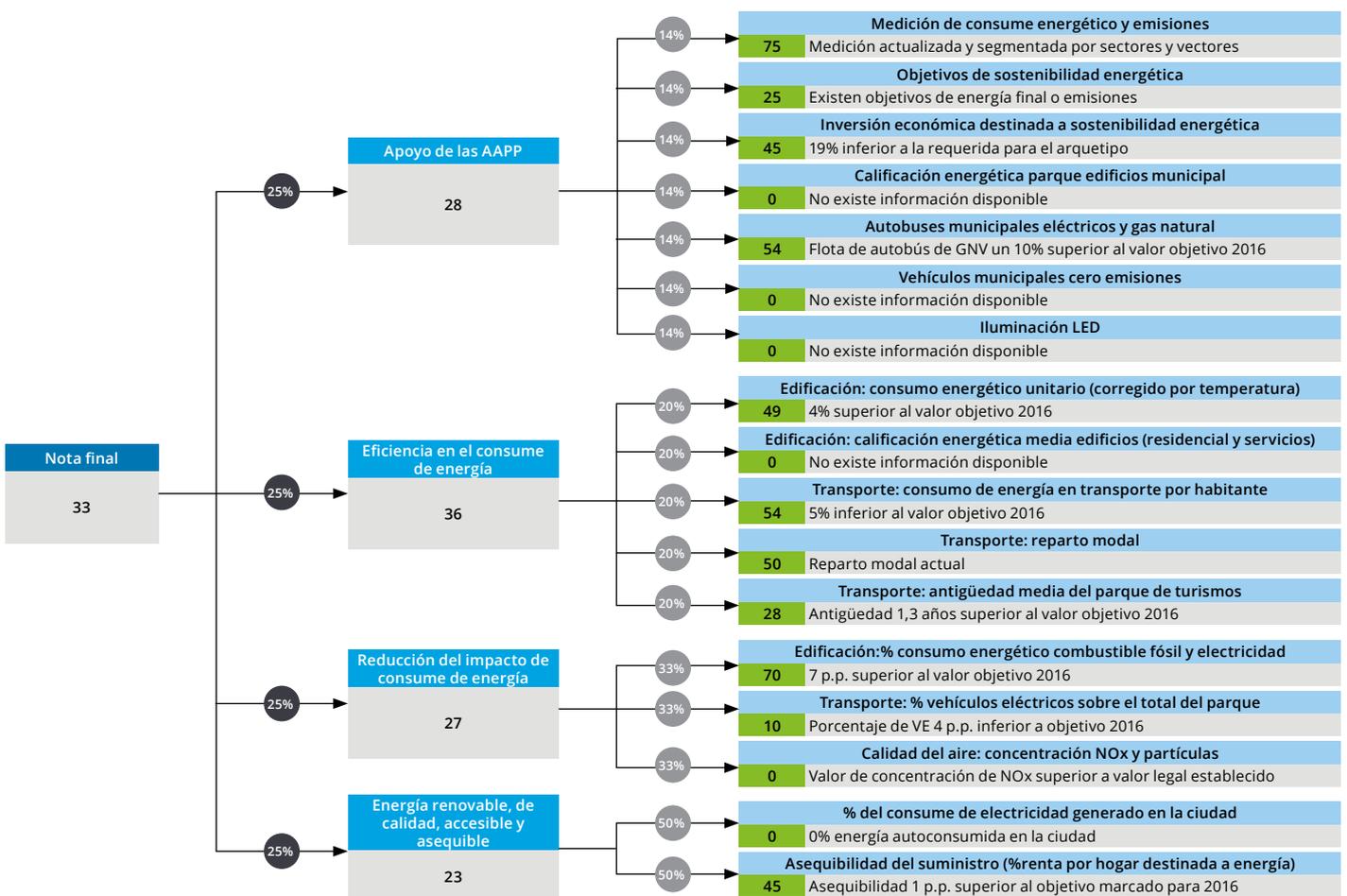
- El pilar Apoyo de las Administraciones Públicas entre 11 y 35. Las ciudades con las mejores puntuaciones en este pilar destacan por publicar una medición de consumo de energía final y emisiones, actualizada anualmente, segmentada por sectores y vectores energéticos y con un despliegue superior al 30% de vehículos de transporte público menos contaminantes.
- El pilar Eficiencia en el consumo de energía final entre 34 y 50. Las ciudades que destacan en este pilar tienen consumos de energía en transporte por habitante menor a 0,15 tep/habitante-año (lo que equivale a unos 2.000 km recorridos en coche al

año, cuando la media de las ciudades analizadas está en 3.000 km), gracias al fomento del transporte no motorizado y que este alcance más de un 60% de reparto modal.

- El pilar Reducción del impacto del consumo de energía entre 28 y 44. Las ciudades con mejor puntuación en este pilar presentan un grado de electrificación del consumo residencial superior al 60%, mientras que la media de las ciudades analizadas se encuentra por debajo del 50%.
- El pilar Consumo de energía renovable, asequible y de calidad entre 8 y 65. En las ciudades con mayor valoración en este aspecto, el coste energético de los hogares es alrededor del 10% de la renta familiar, mientras que en otras ciudades este valor puede llegar a ser de hasta el 18%.

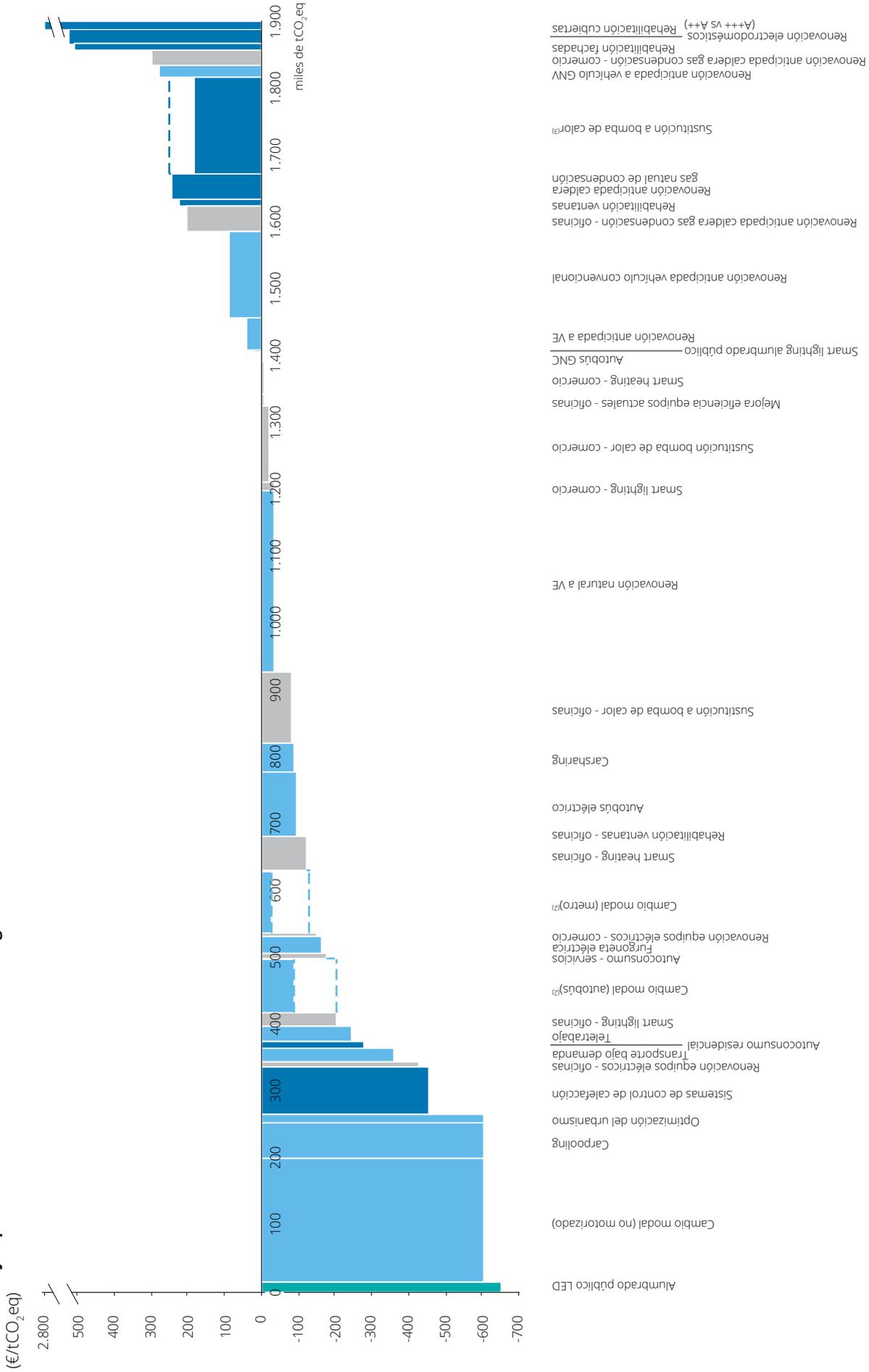
Las ciudades españolas ya han tomado conciencia del reto de mejorar la sostenibilidad energética, pero, a día de hoy, aún están lejos del punto de llegada en 2030. Este índice, además permite identificar mejores prácticas en las diferentes ciudades que pueden ser exportadas a otras para la mejora de la sostenibilidad.

Cuadro 46: Ejemplo de cálculo de índice para una ciudad



Anexo I: curvas de abatimiento

Cuadro 47: Ejemplo de curva de abatimiento: ciudad grande clima frío⁽¹⁾

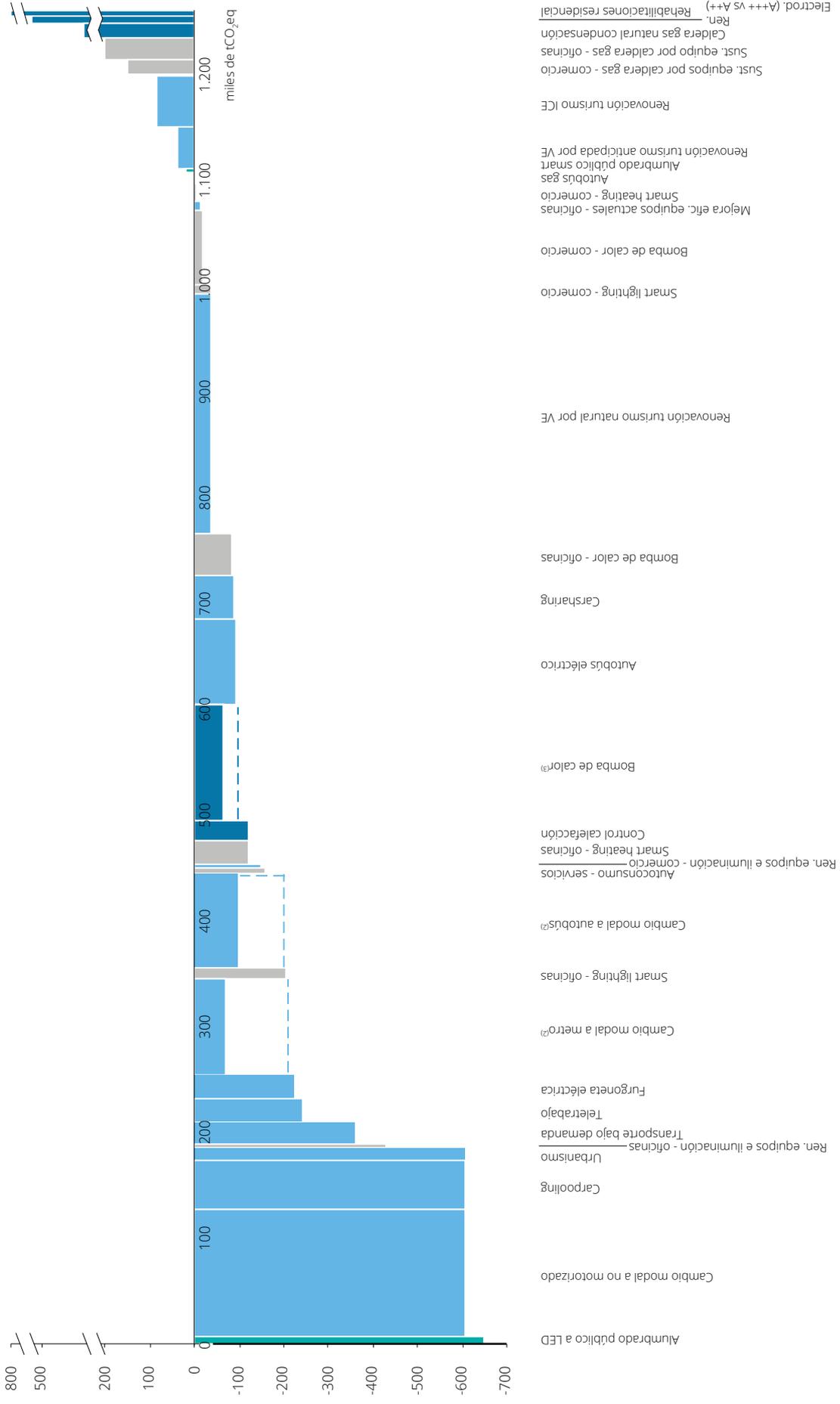


■ Residencial ■ Servicios ■ Transporte ■ Consumos Municipales

(1) Abatimiento sin considerar efectos acumulados (p.ej., rehabilitación y bomba de calor en el mismo hogar)
 (2) El valor de la línea punteada representa el coste de abatimiento en caso de imputar a los usuarios la inversión necesaria en material rodante para atender el incremento de demanda
 (3) El valor de la línea punteada representa el coste de abatimiento en caso de una tarifa eléctrica revisada

Cuadro 48: Curva de abatimiento para una ciudad grande de clima templado⁽¹⁾

(€/tCO₂e_q)

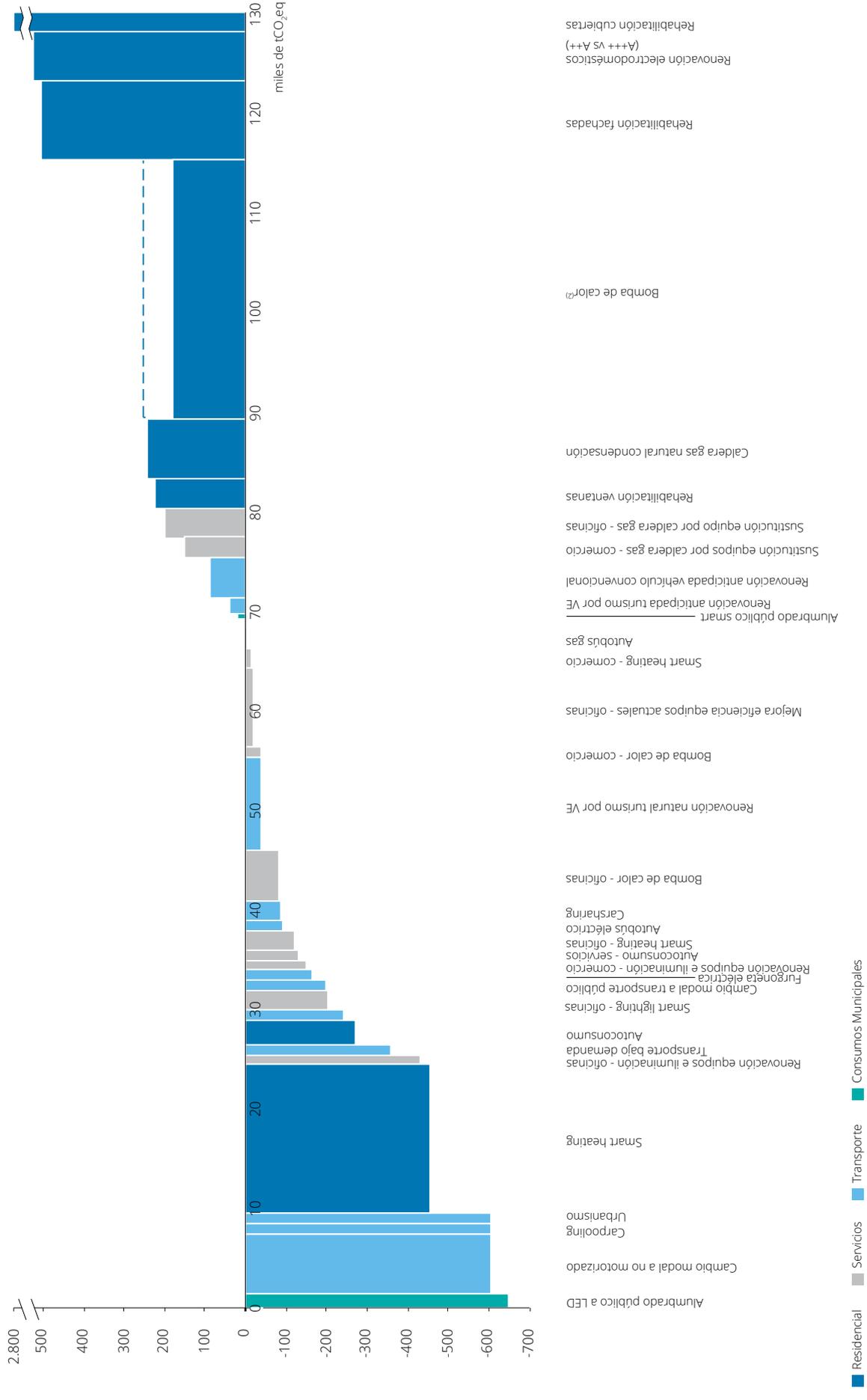


■ Residencial ■ Servicios ■ Transporte ■ Consumos Municipales

(1) Abatimiento sin considerar efectos acumulados (p. ej., rehabilitación y bomba de calor en el mismo hogar)
 (2) El valor de la línea punteada representa el coste de abatimiento en caso de imputar a los usuarios la inversión necesaria en material rodante para atender el incremento de demanda
 (3) El valor de la línea punteada representa el coste de abatimiento en caso de una tarifa eléctrica revisada

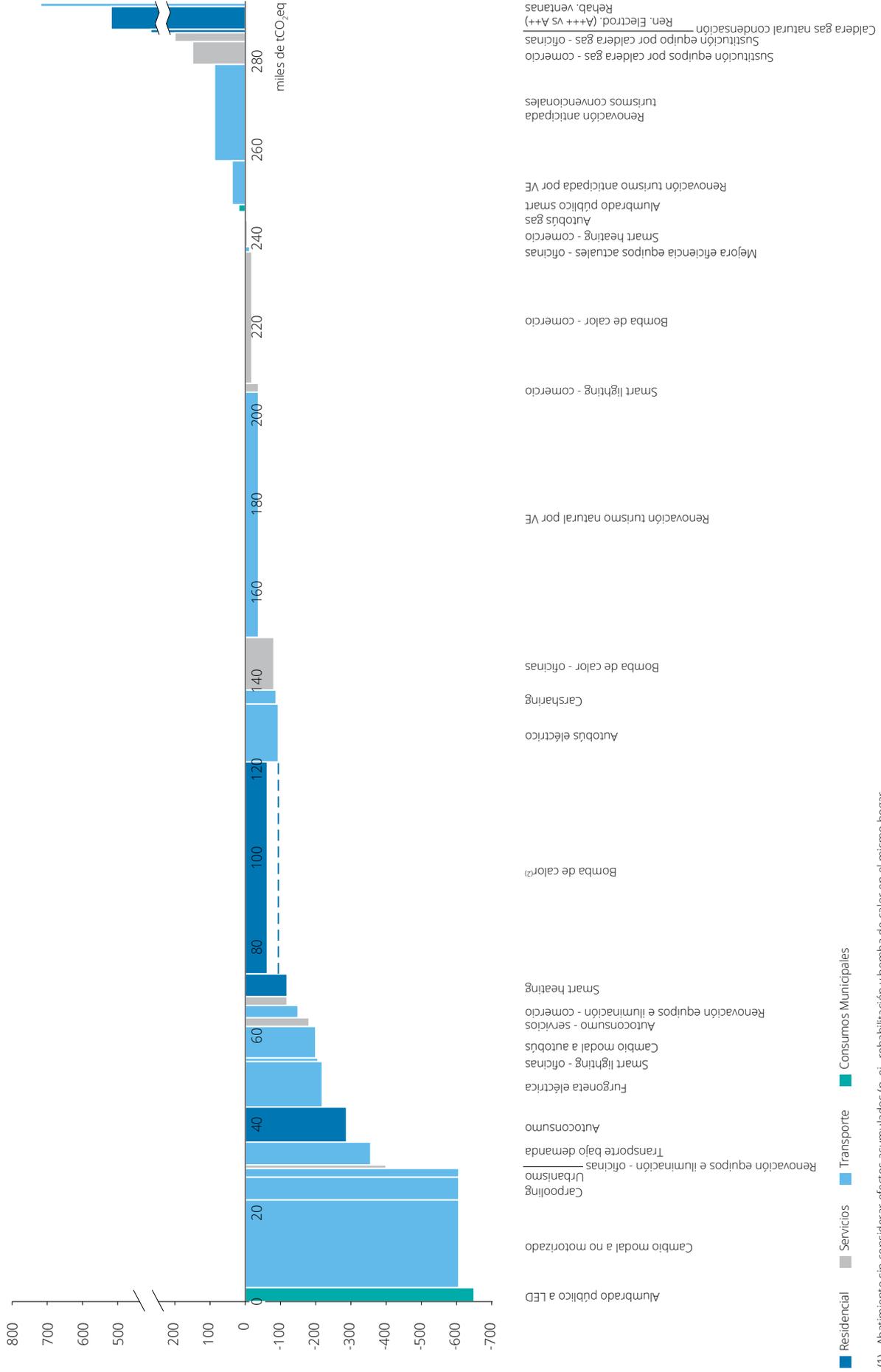
Fuente: Análisis Monitor Deloitte

Cuadro 49: Curva de abatimiento para una ciudad media de clima frío⁽¹⁾
(€/tCO₂eq)



(1) Abatimiento sin considerar efectos acumulados (p. ej., rehabilitación y bomba de calor en el mismo hogar)
(2) El valor de la línea punteada representa el coste de abatimiento en caso de una la tarifa eléctrica revisada

Cuadro 50: Curva de abatimiento para una ciudad media de clima templado⁽¹⁾
(€/tCO₂e)



(1) Abatimiento sin considerar efectos acumulados (p. ej., rehabilitación y bomba de calor en el mismo hogar)
(2) El valor de la línea punteada representa el coste de abatimiento en caso de una la tarifa eléctrica revisada

Bibliografía

Albert Cuchí; Ignacio de la Puerta (2016). Diagnóstico de la rehabilitación en Comunidades Autónomas

Albert Cuchí; Peter Sweatman (2013). Informe GTR 2014

IDAE (2011). Análisis del consumo energético del sector residencial en España. SPAHOUSEC

IDAE (2018). Balance de Energía Final 1990-2016

IDAE (2018). Detalles de consumos del sector servicios 2016

IDAE (2018). Informe anual de consumos energéticos, sector residencial 2010-2016

IDAE (2018). Informe anual de intensidades energéticas. Año 2016

IDAE (2018). Informe sintético de indicadores de eficiencia energética en España. Año 2016

IDAE, Ministerio de Fomento (2011). Escala de calificación energética para edificios existentes

INE (2011). Censo de Población y Viviendas 2011

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2017). Informe de la calidad del aire en España 2016

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2018). Inventario nacional de emisiones de Gases de efecto invernadero 1990 – 2016

Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (2017). Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020

Ministerio de Fomento (2017). Áreas urbanas en España 2017

Ministerio de Industria, Energía y Turismo (2014). Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020

Observatorio Movilidad Metropolitana – Informe 2016

TRANSyT, Centro de Investigación del Transporte, Universidad Politécnica de Madrid (2018).

Contactos



Alberto Amores es Socio Responsable de Consultoría Estratégica de Energía y Recursos Naturales (Monitor Deloitte)
aamores@deloitte.es



Laureano Álvarez es Socio de Consultoría Estratégica de Energía y Recursos Naturales (Monitor Deloitte)
jlalvarez@deloitte.es



Joaquín Chico es Senior Manager de Consultoría Estratégica de Energía y Recursos Naturales (Monitor Deloitte)
jochico@deloitte.es

Monitor **Deloitte.**

Deloitte hace referencia, individual o conjuntamente, a Deloitte Touche Tohmatsu Limited ("DTTL") (private company limited by guarantee, de acuerdo con la legislación del Reino Unido), y a su red de firmas miembro y sus entidades asociadas. DTTL y cada una de sus firmas miembro son entidades con personalidad jurídica propia e independiente. DTTL (también denominada "Deloitte Global") no presta servicios a clientes. Consulte la página <http://www.deloitte.com/about> si desea obtener una descripción detallada de DTTL y sus firmas miembro.

Deloitte presta servicios de auditoría, consultoría, asesoramiento financiero, gestión del riesgo, tributación y otros servicios relacionados, a clientes públicos y privados en un amplio número de sectores. Con una red de firmas miembro interconectadas a escala global que se extiende por más de 150 países y territorios, Deloitte aporta las mejores capacidades y un servicio de máxima calidad a sus clientes, ofreciéndoles la ayuda que necesitan para abordar los complejos desafíos a los que se enfrentan. Los más de 244.000 profesionales de Deloitte han asumido el compromiso de crear un verdadero impacto.

Esta publicación contiene exclusivamente información de carácter general, y ni Deloitte Touche Tohmatsu Limited, ni sus firmas miembro o entidades asociadas (conjuntamente, la "Red Deloitte"), pretenden, por medio de esta publicación, prestar un servicio o asesoramiento profesional. Antes de tomar cualquier decisión o adoptar cualquier medida que pueda afectar a su situación financiera o a su negocio, debe consultar con un asesor profesional cualificado. Ninguna entidad de la Red Deloitte será responsable de las pérdidas sufridas por cualquier persona que actúe basándose en esta publicación.

© 2019 Para más información, póngase en contacto con Deloitte Consulting, S.L.

Diseñado y producido por el Dpto. de Comunicación, Marca y Desarrollo de Negocio, Madrid.