

MADRID



Hoja de ruta hacia la neutralidad climática en 2050



MADRID

MADRID

Hoja de Ruta hacia la neutralidad climática en 2050

- 1** Visión y compromiso
- 2** Situación de partida
- 3** Objetivos de reducción de emisiones
- 4** Sectores y palancas de transformación
- 5** Análisis económico
- 6** Coordinación entre administraciones y colaboración público-privada
- 7** Acciones clave del ámbito municipal
- 8** Resiliencia al clima
- 9** Seguimiento y comunicación
- 10** Amenazas y barreras
- 11** Anexos

1 Visión y Compromiso

El Cambio Climático es el mayor reto ambiental al que se enfrenta el planeta. Sin embargo, sus consecuencias trascienden este ámbito incidiendo directa e intensamente en la sociedad y la economía. La crisis climática se manifiesta en diferentes formas y magnitudes tanto a escala global como local.

Las ciudades son un elemento clave en esta crisis. Constituyen núcleos de alta intensidad energética y, por consiguiente, son responsables de gran parte de los volúmenes de emisiones de gases de efecto invernadero que se vierten a la atmósfera. Pero a su vez, son objeto de los impactos derivados de las alteraciones climáticas, que ponen en riesgo los sistemas urbanos, desde los relacionados con el abastecimiento de recursos esenciales como el agua, la energía o los alimentos, como aquellos relacionados con la salud, los flujos migratorios o la actividad económica. En todo caso, la solución a este reto pasa por las ciudades, por el desarrollo de su potencial de recursos, conocimiento y acción.

La Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360, presentada en septiembre de 2019, ya apuntaba en su introducción a que *“la necesidad imperiosa de frenar el cambio climático llevó a la Unión Europea a establecer límites más claros y ambiciosos en la emisión de gases dentro de las ciudades”*. En 2020, el Consejo Europeo ha refrendado el nuevo objetivo, vinculante para la UE, de reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero de la Unión en, al menos, un 55% para 2030 con respecto a los valores de 1990 (Pacto Verde Europeo) y, en consecuencia, la Estrategia Madrid 360 desarrolla esta Hoja de Ruta, que no solo responde a este llamamiento, sino que establece un nivel de ambición mayor, como corresponde a aquellas ciudades que quieren situarse a la vanguardia de la lucha frente al Cambio Climático.

Así, la acción climática que se refleja en esta Hoja de Ruta deriva del objetivo general establecido por la Estrategia Ambiental Madrid 360 de transformar Madrid en una ciudad más sostenible desde el punto de vista ambiental, incidiendo de forma directa sobre una mejora en la calidad de vida, en el desarrollo de una economía baja en carbono y en una mayor seguridad y resiliencia frente a los riesgos climáticos. En ella se identifican y desarrollan aquellas acciones especialmente relevantes de Madrid 360 en materia de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero con el fin de detener, revertir y mitigar los efectos derivados del Cambio Climático.

La **Hoja de Ruta hacia la Neutralidad Climática para 2050 de la Ciudad de Madrid**, alinea las políticas municipales con las europeas y estatales, y hace propios los retos más ambiciosos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta Hoja de Ruta tiene por metas **reducir las emisiones de la ciudad de Madrid el 65% en 2030, respecto a 1990 y alcanzar la neutralidad climática en el año 2050** (escenario sostenible).

Pero este viaje no comienza ahora, Madrid ya tiene un camino hecho en esta dirección. Esta Hoja de Ruta se suma a un conjunto de compromisos, planes e instrumentos que constituyen la planificación climática de la ciudad de Madrid, un plan vivo que va actualizando, ampliando y añadiendo nuevas iniciativas.

La Hoja de Ruta constituye, por tanto, un análisis de carácter técnico que tiene por objeto dar soporte al compromiso político de acción frente al Cambio Climático de la ciudad de Madrid. Este compromiso responde, en primer término, a movimientos y herramientas de carácter internacional entre los que destacan:

- **Pacto verde europeo (Green Deal).** El 11 de diciembre de 2019, la Comisión presentó su Comunicación sobre el **Pacto Verde Europeo**. Se trata de una nueva estrategia de crecimiento para la UE tendente a transformarla en una sociedad climáticamente neutra, equitativa y próspera, con una economía moderna, eficiente en el uso de los recursos y competitiva. En la reunión del Consejo Europeo de diciembre de 2019, los dirigentes de la UE reiteraron su empeño en ejercer un papel motor en la lucha mundial contra el cambio climático, confirmando el objetivo de la neutralidad climática para 2050. En diciembre de 2020, el Consejo Europeo ha refrendado el nuevo objetivo, vinculante para la UE, de reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero de la Unión en al menos un 55% para 2030 con respecto a los valores de 1990, lo que representa 15 puntos porcentuales por encima del objetivo de 2030 acordado en 2014. Los dirigentes de la UE han instado al Consejo y al Parlamento a que reflejen este nuevo objetivo en la propuesta de Ley Europea del Clima y a que adopten rápidamente esta ley.

- **Fondos de recuperación, transformación y resiliencia** (Next Generation EU). Ambicioso Plan de financiación que recoge, como uno de los principales objetivos en el programa de España, “Un país que apuesta por la descarbonización, que invierte en infraestructuras verdes y que transita desde las energías fósiles hasta un sistema energético limpio”, siendo la transición ecológica uno de los cuatro ejes transversales. La variable climática es, por tanto, uno de los ejes para destinar los fondos asociados al Plan.

- **El Acuerdo de París** alcanzado en el marco de la Conferencia de las Partes (COP21, diciembre 2015) de la Convención sobre el Cambio Climático, que establece conforme a las conclusiones de la comunidad científica (IPCC) el objetivo de limitar el aumento de la temperatura mundial por debajo de los 2 °C, recomendando mantener incluso por debajo de los 1,5 °C este incremento para evitar consecuencias irreversibles y que, en términos de reducción de emisiones, deberá traducirse en la especificación de contribuciones determinadas a nivel nacional. A destacar también el papel relevante de Madrid en la celebración de la **COP 25** (diciembre 2019) en la que se reiteró la visión y ambición climática de nuestra ciudad.

- El reto asumido por el Ayuntamiento de Madrid como miembro de la Red de Liderazgo de ciudades frente al Cambio Climático **C40**, que requiere la elaboración de una hoja de ruta antes de 2020 (Iniciativa Deadline 2020) para alcanzar la neutralidad en emisiones de gases de efecto invernadero antes de 2050, con un objetivo intermedio en 2030.

- **Pacto de Alcaldías por el Clima y la Energía**, del que Madrid forma parte desde su fundación en 2008 con el propósito de reunir a los gobiernos locales que voluntariamente se comprometen a alcanzar y superar los objetivos de la UE en materia de clima y energía.

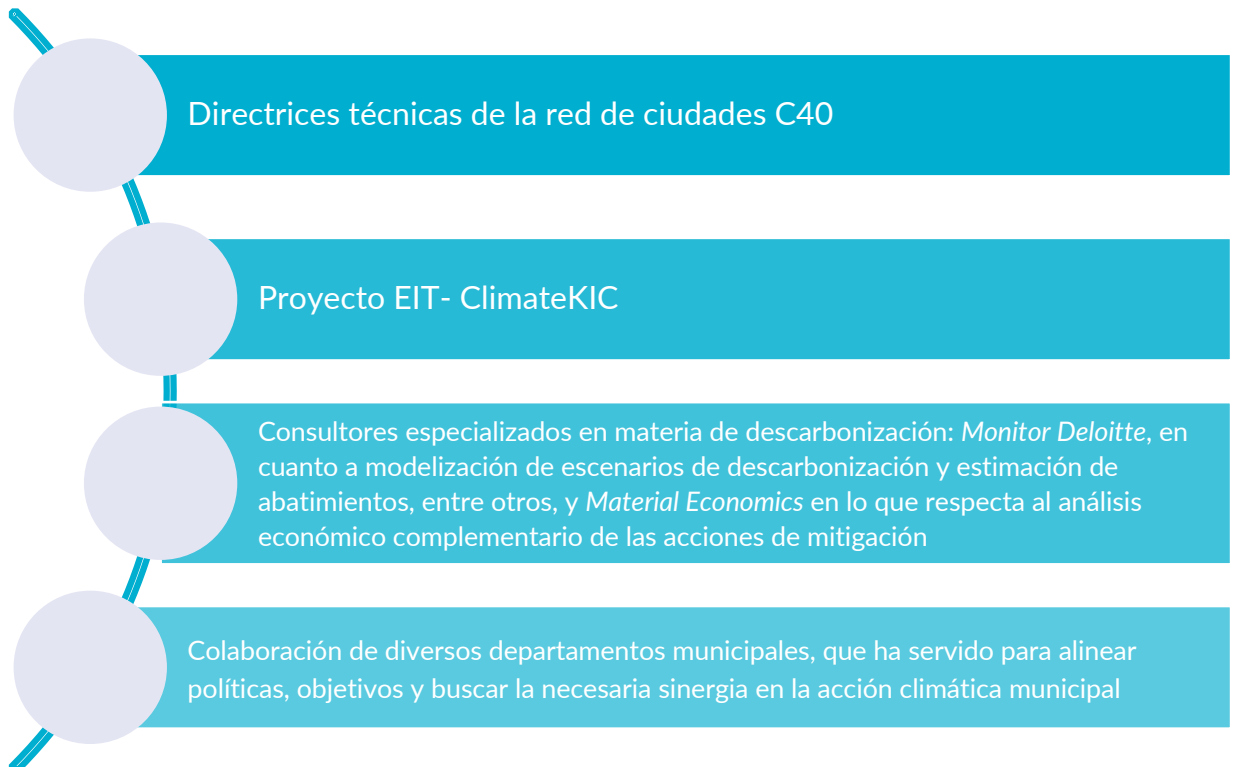
La Hoja de Ruta desarrolla la acción climática ya reflejada de forma genérica en la **Estrategia Ambiental Madrid 360** y en el **Plan de calidad del aire y cambio climático**, que también se recoge específicamente en distintas declaraciones institucionales como:

- Acuerdos de la Villa 2020, en cuyo Acuerdo MEC.GT1.067/274 se señala la necesidad de acciones municipales específicas de lucha contra el Cambio Climático, con el fin de alcanzar como mínimo los objetivos nacionales y europeos para los años 2030 y 2050 sobre descarbonización y neutralidad climática.

- Declaración de Emergencia Climática (25/09/2019), por la que el Pleno municipal aprobó la necesidad de Establecer los compromisos políticos, normativas y recursos necesarios para garantizar la reducción progresiva de gases de efecto invernadero.

La Hoja de Ruta pone a Madrid ante un gran desafío que implica una transformación urbana y la integración transversal de la acción climática en las políticas municipales. Con este fin, la ciudad se ha adherido recientemente al proyecto del Instituto Europeo de Innovación y Tecnología **Deep Demo Climate-KIC**. Esta adhesión, aprobada por el Pleno municipal en Julio de 2020, supone evaluar e innovar en los procesos y mecanismos de colaboración que permitan acelerar la transición hacia la neutralidad climática.

El documento que se desarrolla a continuación es el resultado de un análisis, coordinado desde el Área de Medio Ambiente y Movilidad, que ha contado con la contribución de distintas fuentes:



2

Situación de partida

En los últimos años la ciudad de Madrid ha puesto en marcha políticas, planes y acciones para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Habitualmente estas acciones se han asociado a otros planes municipales como los de calidad del aire, movilidad o regeneración urbana, aprovechando recursos, desarrollando sinergias y tratando de orientar en la misma dirección las distintas políticas municipales.

Para conocer el estado y la evolución de estas emisiones a la atmósfera, el Ayuntamiento de Madrid elabora anualmente el Inventario de GEI de la ciudad de Madrid. El inventario ofrece información de las emisiones directas (alcance 1) e indirectas por consumo eléctrico y pérdidas por la distribución (alcances 2 y 3), desagregadas por sectores de actividad.

El Inventario sigue la metodología del proyecto europeo CORINAIR, coordinado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) y cumple los requisitos establecidos por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y el Grupo de Trabajo sobre Inventarios y Proyecciones de Emisiones a la Atmósfera de la Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas (TFEIP - UNECE). La recopilación, análisis y consolidación de información implica un desfase en la publicación del inventario, de forma que el último informe corresponde al año 2018. Los valores del Inventario de emisiones de GEI 2018 arrojan un volumen total de emisiones de **11.125 ktCO₂eq**, de las cuales **7.416 ktCO₂eq** (66,7%) son emisiones directas y **3.708 ktCO₂eq** (33,3%) indirectas.

Desagregación sectorial del total de emisiones de GEI (año 2018)

Sector	Emisiones	Contribución
	kt CO ₂ eq	(%)
Residencial, Comercial e Institucional	5.576	50,1
Industria*	653	5,9
Transporte por carretera	2.653	23,9
Otros modos de transporte	1.064	9,6
Tratamiento y eliminación de residuos**	772	6,9
Otros***	406	3,6
TOTAL	11.125	100

(*) Incluye emisiones industriales derivadas o no de procesos de combustión (grupos SNAP 03 y 04)

(**) Incluye tratamiento de residuos y tratamiento de aguas residuales

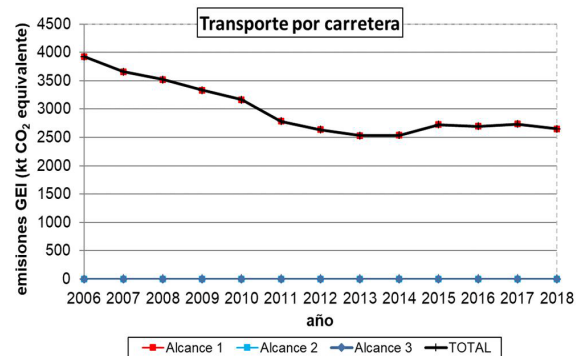
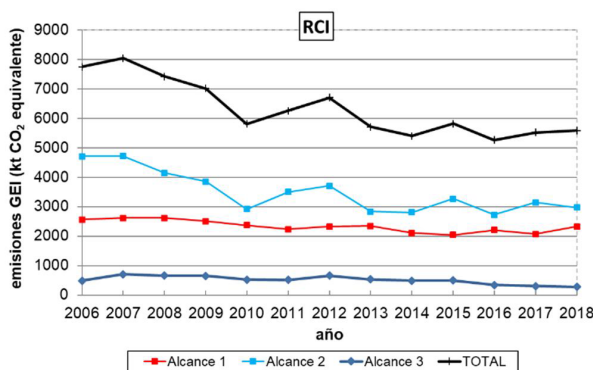
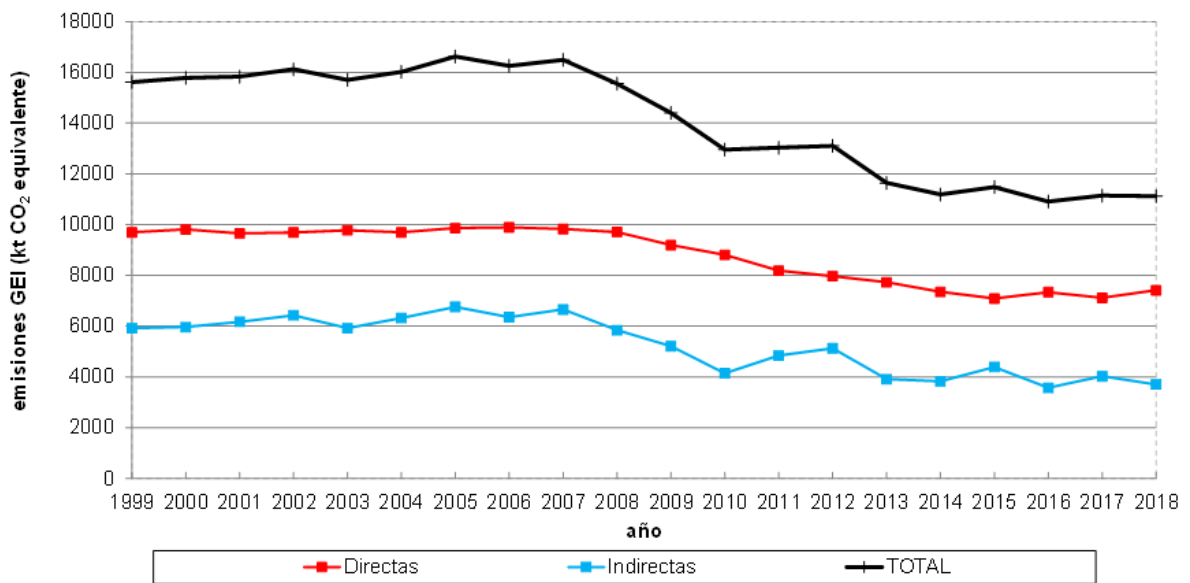
(***) Incluye la Extracción y distribución de combustibles fósiles, el uso de disolventes y otros productos, la agricultura y la naturaleza (exceptuando las absorciones de CO₂ por parte de los sumideros)

Emisiones directas e indirectas de GEI (año 2018)

Año 2018	Emisiones	Contribución
	kt CO ₂ eq	(%)
Directas	7.416	66,7
Indirectas	3.708	33,3
TOTAL	11.125	100

Por sectores de actividad, el Residencial, Comercial e Institucional (RCI) es el que tiene una mayor contribución de emisiones **5.576 ktCO₂eq** (50,1%), seguido por el de Transporte por carretera **2.653 ktCO₂eq** (23,9%) y otros modos de transporte **1.064 ktCO₂eq** (9,6%), dada la influencia del aeropuerto de Barajas en el cómputo global municipal.

Respecto a 1990, en el año 2018 las emisiones directas de GEI del municipio han disminuido un 10,5% y las emisiones indirectas un 20,6%, lo que implica una reducción del total de emisiones del 14,1%. En el periodo 2000-2018, las emisiones directas del sector "RCI" han disminuido un 9% (pese al crecimiento experimentado en el último año) y las del "Transporte por carretera" un 32,4%.



Los indicadores muestran un cifra muy inferior de emisiones per capita en el municipio de Madrid en relación a la media nacional, así como una mayor intensidad energética.

En 2018 el municipio de Madrid acogió el 7% de la población nacional y generó el 3% de las emisiones totales de GEI. Así, la emisión per cápita municipal fue un 52% inferior a la media nacional (3,5 frente a 7,2 t/habitante). Del mismo modo, Madrid generó el 13% del PIB nacional, por lo que su “intensidad de emisión por unidad de PIB” fue un 73% inferior al valor nacional (79 frente a 298 t/M€2010). Estas importantes diferencias se deben, en gran medida, a la estructura productiva del municipio, cuya actividad económica se basa en el sector terciario (servicios) y no en la industria que, al consumir más energía, genera más emisiones.

*Indicadores de emisión a nivel municipal y nacional
(año 2018)*

Año 2018	Emisión per cápita	Emisión por unidad de PIB
	(t CO ₂ eq/hab)	(t CO ₂ eq / mill € ₂₀₁₀)
Madrid	3,5	79
España	7,2	298
Ratio Madrid/España	0,48	0,27

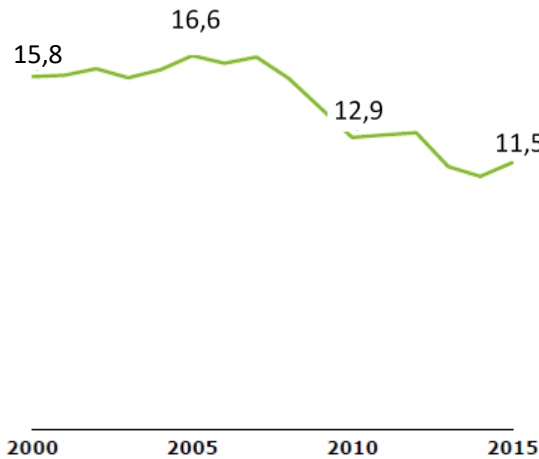
En el periodo evaluado (2000-2018), la emisión per cápita municipal ha tenido un descenso del 37% y, desde el punto de vista de las emisiones por unidad de PIB, este indicador muestra en Madrid una reducción del 52% en el periodo 2000-2018.

Los esfuerzos de mitigación se han centrado en los sectores más emisores, el transporte y la edificación asociados al desarrollo de políticas convergentes como las de Calidad del Aire, la rehabilitación de edificios o la eficiencia energética.

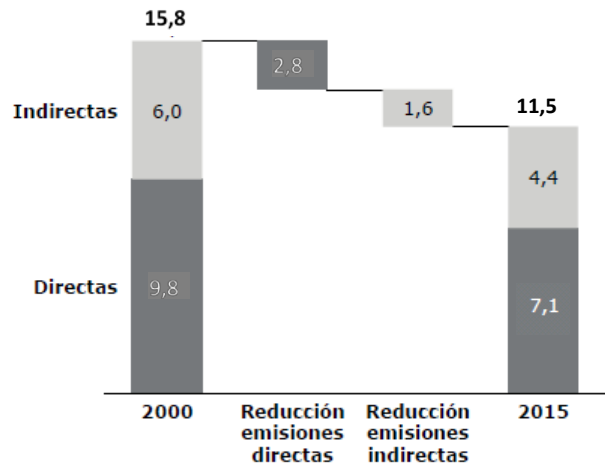
En general, la ciudad de Madrid, gracias al conjunto de acciones municipales y de otras instituciones y sectores, está siguiendo una senda acertada en la reducción de emisiones. Si bien, las tendencias muestran la necesidad de acelerar e incrementar los ritmos de reducción.

Respecto al periodo 2000 – 2015. La evolución de las emisiones de GEI muestra una tendencia de reducción, pasando de las 15,8 MtCO₂eq al comienzo de ese periodo, hasta alcanzar las 11,5 MtCO₂eq en 2015. La reducción de las emisiones indirectas (las asociadas al consumo de energía eléctrica y a las pérdidas en su distribución) supera 26,4 %, mientras que el de las directas ha alcanzado el 27,7%

Evolución de emisiones GEI totales en Madrid
(Mt CO₂eq; 2000-2015)



Evolución de emisiones directas e indirectas en Madrid entre el 2000 y el 2015
(Mt CO₂eq; 2000-2015)



Fuente: Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del municipio de Madrid

En todo caso, la consecución de los objetivos que se establecen en esta hoja de ruta incide en la necesidad de continuar e intensificar las políticas de mitigación de emisiones, afrontando retos como el **desacoplamiento del crecimiento económico del incremento en el consumo energético y de emisiones**, y promoviendo un desarrollo inclusivo que cuente con la implicación de la ciudadanía y ayude a la cohesión social, impulsando la transformación urbana hacia modelos sostenibles.

Contexto socio económico

El cumplimiento de los objetivos de la Hoja de Ruta estará estrechamente ligado a la evolución del contexto socio-económico que acompañe al proceso. La puesta en práctica de muchas de las medidas requerirá inversiones económicas, tanto desde el ámbito público como privado, y un objetivo explícito de cohesión social y desarrollo inclusivo.

El Ayuntamiento publica anualmente el informe [Madrid Economía](#), un análisis de la situación socio-económica de la ciudad que ofrece un panorama general de la situación actual y tendencias. La [edición 2020](#) expone una situación de crecimiento económico mantenido en los últimos años, en una clara senda de recuperación desde la crisis producida a finales de la primera década de este siglo. Sin embargo, la crisis sanitaria provocada por la pandemia presenta una gran incertidumbre y un freno a esta tendencia en el corto plazo, debido a la caída del empleo y de la actividad de algunos sectores estratégicos.

En términos demográficos, la población de la ciudad ha encadenado cinco años de crecimiento, alcanzando en 2020 la cifra de 3.334.730 habitantes, habiéndose

incrementado el porcentaje de población extranjera en el último año. La llegada de personas desde fuera de España ha permitido la incorporación de trabajadores a la actividad productiva, con un ensanchamiento de la pirámide de población en los tramos de edad más activos laboralmente y un rejuvenecimiento de ésta.

La estructura productiva de la ciudad está dominada por los servicios (88,6%), seguida de la industria (6,9%) y la construcción (4,5%). Dentro de los servicios, las ramas más destacadas son Información y comunicaciones, Actividades profesionales, científicas y técnicas, Actividades inmobiliarias y Actividades financieras. Estos cuatro grupos concentran el 40% del valor añadido total generado por la economía de Madrid.

La economía de Madrid ha destacado en los últimos años por una relativa fortaleza, acompañada de una dinámica empresarial al alza. El PIB creció un 2019 un 2,4 %, el mayor de España, aunque esta tendencia resulta incierta debido a la crisis sanitaria. El análisis destaca la importancia en la ciudad de sectores estratégicos como el turismo, las infraestructuras en transporte, la investigación y formación o el sector financiero y la exportación. Más allá de esta imagen general, la Hoja de Ruta tiene como principio incorporar, en el desarrollo de las acciones y medidas, metodologías de análisis del contexto socio-económico. Este análisis resulta fundamental, tanto en el ámbito de la mitigación como en el de la adaptación, si bien tiene especial relevancia en este último y de manera específica en acciones localizadas en barrios y áreas con alta vulnerabilidad. El Ayuntamiento dispone de numerosas herramientas que permiten acercarse a un diagnóstico urbano, tales como el [análisis socio-económico](#), [Informes de diagnóstico por distrito](#), [índices de vulnerabilidad por distritos](#), o el [diagnóstico de ciudad](#) realizado con motivo de los trabajos de Revisión PGOUM, entre otros.

La elaboración de esta Hoja de Ruta y la estimación de potenciales de abatimiento ha incorporado el contexto socio-económico a través del análisis de las siguientes variables.



3 Objetivos de reducción de emisiones

La urgencia por acelerar los procesos de reducción de emisiones ha provocado la necesidad de aumentar el nivel de ambición en cuanto a objetivos de descarbonización y reducir los plazos para alcanzar la neutralidad en carbono.

El Acuerdo de París y los objetivos planteados por la Unión Europea en el Marco sobre Clima y Energía para 2030 son las referencias a nivel europeo. En el ámbito local, el Ayuntamiento de Madrid adopta inicialmente los objetivos recogidos en el Plan A, Plan de Calidad del Aire y Cambio Climático de la ciudad de Madrid. Sin embargo, con el fin de alcanzar las metas europeas más avanzadas y observando el contexto del Pacto Verde Europeo, la ciudad de Madrid no solo asume el reto de la Comisión Europea para intensificar la ambición climática de Europa para 2030, sino que apuesta por un compromiso más ambicioso dentro de su Estrategia Ambiental Madrid 360:

Reducción del 65% en las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 (respecto 1990), superando la ambición europea en 10 puntos y posicionando a Madrid en la senda de la neutralidad climática para 2050

Así pues, considerando que las emisiones en el año 1990 fueron **12.954 ktnCO_{2eq} (13 MtCO_{2eq})** y que, conforme a la evolución experimentada hasta la fecha y la previsible trayectoria (escenario tendencial) no es posible alcanzar los objetivos planteados, se plantean los siguientes escenarios de reducción de emisiones GEI de la ciudad de Madrid:

Siguiendo el **escenario sostenible**, que implica acentuar las medidas de reducción con mayor capacidad de abatimiento y establecer herramientas innovadoras de implementación tal y como se describe más adelante, el volumen de emisiones previsto para **2030** será de **4,5 MtCO_{2eq}** lo que supone una reducción de **65,3% MtCO_{2eq}** respecto al año 1990, llegando a las **1,4 MtCO_{2eq}** en **2050**, y alcanzando la neutralidad a través de mecanismos de compensación.

Siguiendo el **escenario extendido**, que requiere cambios socioeconómicos no probables, aunque técnicamente viables, el volumen de emisiones previsto para **2030** será de **3,4 MtnCO_{2eq}** lo que supone una reducción de **73,8% MtnCO_{2eq}** respecto al año 1990, llegando a las **0,6 MtnCO_{2eq}** en **2050**, y alcanzando la neutralidad a través de mecanismos de compensación.

Escenarios de reducción de emisiones

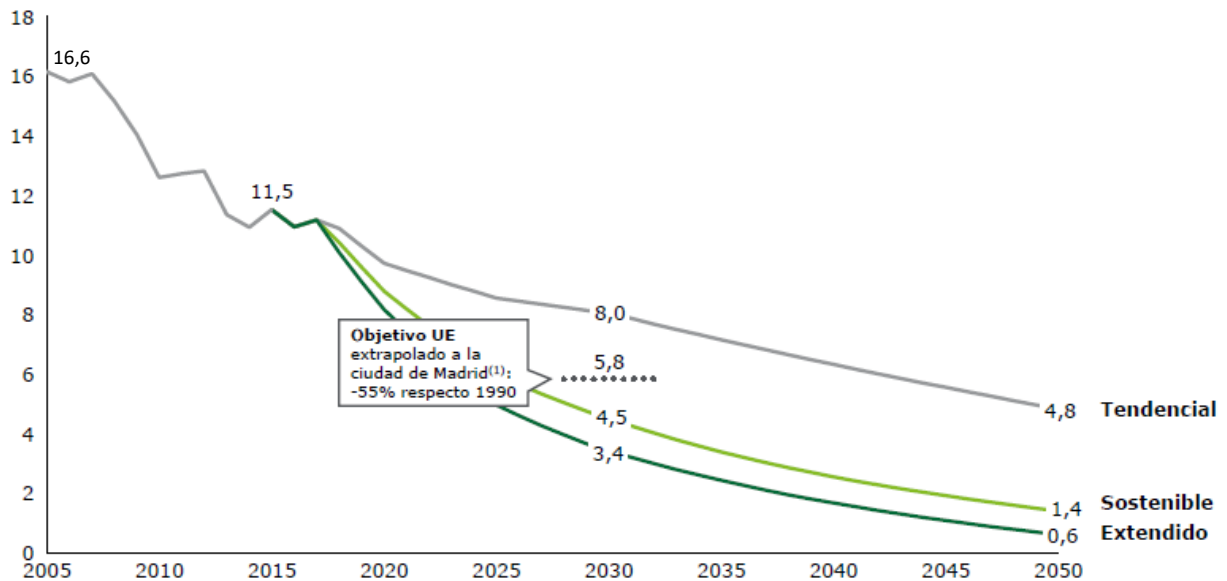
Alcanzar los objetivos planteados implica el desarrollo de políticas, planes y acciones que, desde todos los ámbitos de la sociedad, pero especialmente desde las distintas administraciones, promuevan una transformación de los sectores y palancas responsables de las emisiones.

La neutralidad en emisiones de carbono para el año 2050 supone una reducción anual paulatina que deberá cumplir con unos objetivos parciales hasta ese momento. La intensidad en la reducción de emisiones será determinada por el conjunto de medidas que se apliquen, tanto desde el ámbito local como del contexto supramunicipal.

En función de la aplicación de medidas y de las condiciones de contexto se definen 3 trayectorias para la ruta de descarbonización:



Emisiones por escenario 2005-2050
(Mt CO₂eq)



De acuerdo con el desarrollo de las trayectorias, tanto en el escenario sostenible, como en el extendido, se cumplen los objetivos ambiciosos de la UE para el año 2030. El escenario sostenible muestra un nivel de emisiones en ese año de **4,5 MtCO₂eq**, reduciendo un 61% el volumen de toneladas respecto al año 2015 y del 65,3% respecto a 1990, mejorando así las metas propuestas por la UE.

El escenario extendido incrementa esta ambición llegando a 3,4 MtCO₂eq en 2030, un 70,4% menos que en 2015 y del 73,8% respecto a 1990.

En el año 2050 aún quedarían emisiones residuales **1,4 MtCO₂eq** en el escenario sostenible y **0,6 MtCO₂eq** en el extendido, que deberían neutralizarse a través de medidas de compensación complementarias como la absorción por medio de plantaciones forestales.

Como se pone de manifiesto en la gráfica, el periodo 2020-2030 tiene una especial relevancia en las trayectorias de descarbonización, siendo necesaria una marcada intensidad en la aplicación de medidas y en la creación de las condiciones para provocar una descarbonización inercial en el segundo periodo 2030 -2050.

Co-beneficios de las políticas de mitigación

El camino hacia la neutralidad implica una evolución de muchos de los modelos urbanos actuales y una transformación social y económica. En este proceso, debe destacarse la importancia de los co-beneficios que van a producirse de manera asociada a las acciones de descarbonización.

Las actuaciones en materia de eficiencia energética sobre el parque edificado tendrán como efecto asociado la mejora de la calidad habitacional, especialmente en aquellos edificios y zonas más vulnerables de la ciudad, y mejorarán también las condiciones de acceso a la energía, reduciendo las situaciones de pobreza energética.

La evolución en la movilidad tendrá un efecto directo en la calidad del aire de la ciudad y en el impacto acústico, debido a la reducción de la demanda y a la penetración de nuevas tecnologías. La incorporación de conductas como el teletrabajo o el desarrollo de un urbanismo de proximidad provocarán la reducción de la demanda de desplazamientos y ampliará la presencia de modos no motorizados como el peatonal y el ciclista.

El desarrollo de mecanismos de compensación, como la creación de bosques sumideros de carbono, incrementará sustancialmente la presencia de naturaleza y biodiversidad en la ciudad con todos los beneficios asociados que esto supone.

A las acciones de mitigación se sumarán las de Adaptación al Cambio Climático en la ciudad. A la reducción de los impactos climáticos que producen estas medidas se añaden los múltiples beneficios que proporcionan, desde la mejora en salud de los ciudadanos, de la calidad de los espacios públicos, del estímulo de economías locales, de la gestión del agua o de la reducción de costes en seguros, entre un sinfín de otros efectos.

PALANCAS DE DESCARBONIZACIÓN

Reducción de la demanda de transporte

Cambio modal

Nuevas tecnologías del transporte

Rehabilitación energética

Electrificación de sistemas de calefacción

Reducción volumen de residuos

Mejora tasas reciclaje

Compensación de emisiones

BENEFICIOS ASOCIADOS EN

...

Salud

Biodiversidad

Naturación urbana

Calidad del aire

Equidad e inclusión social

Gestión del agua

Accesibilidad energética

Energía limpia

Acústica

Crecimiento económico

Economías locales. Nuevos modelos de negocio

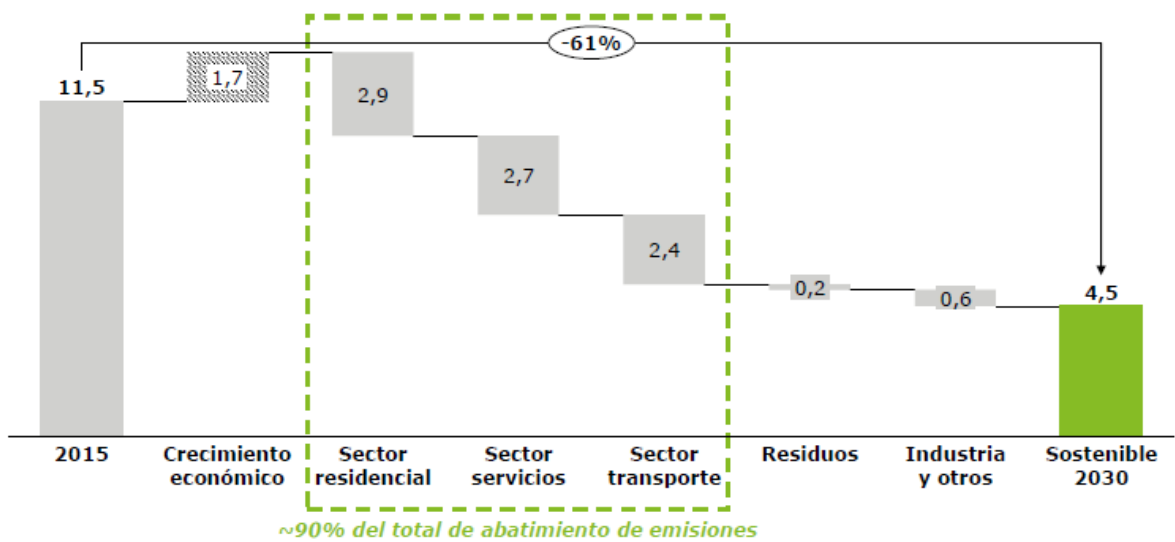
Fomento economía circular

...

4 Sectores y palancas de transformación

El objetivo global de reducción de las emisiones de GEI se alcanzará por la suma de los abatimientos producidos en cada uno de los sectores (1). La trayectoria marcada por el escenario sostenible muestra una contribución por sector en el periodo 2015-2030 según el gráfico siguiente.

Abatimiento de emisiones GEI totales (directas e indirectas) por sector
(Mt CO₂eq; 2015-2030)



La suma de los abatimientos sectoriales entre el periodo 2015-2030 equivale a una reducción de emisiones del 61%, y del 65,3% respecto a 1990. (Cumplimiento de objetivos de UE).

El **sector residencial** es el que debe contribuir con el mayor volumen de reducciones (**2,9 MtCO₂eq**), seguido del sector servicios (**2,7 MtCO₂eq**) y el de transporte (**2,4 MtCO₂eq**). Como se aprecia en el gráfico, la suma de las emisiones abatidas de los sectores de transporte, residencial y servicios aglutina la mayor parte de las emisiones a reducir, el 91%.

Es, por tanto, en estos sectores donde deberá intensificarse la acción, aunque sin dejar de actuar en las otras áreas, ya que las estrategias de descarbonización deben ser integrales entendiendo las interrelaciones y la complejidad del sistema urbano.

Análisis de la reducción de emisiones en los principales sectores en el periodo 2015-2030

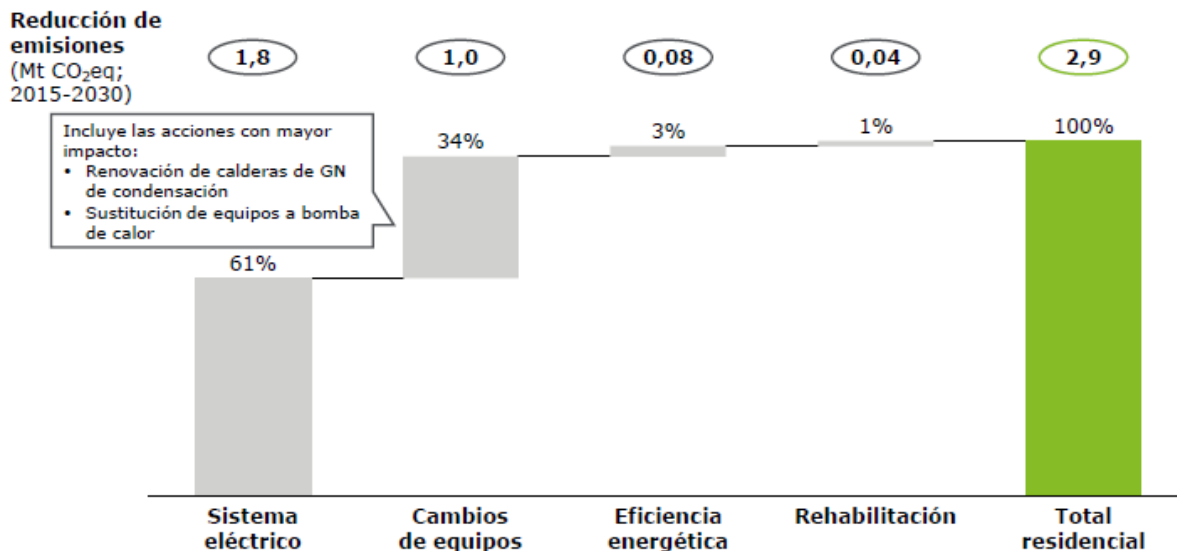
Sector residencial

En el sector residencial tiene especial relevancia la reducción de emisiones asociadas al mix eléctrico. En el escenario sostenible, la descarbonización esperada de la matriz energética en el periodo 2015-2030 implica una reducción de emisiones de **1,8 MtCO₂eq**, más del 60% en este sector.

En segundo lugar, la renovación de equipos térmicos a calderas de condensación de GN y de bomba de calor, con la consiguiente mejora de los rendimientos y eficiencia energética, permitirá reducir **1 MtCO₂eq**, el 34% de las emisiones de este sector en el periodo 2015-2030.

Otras actuaciones de eficiencia energética (renovación de electrodomésticos, iluminación...) y rehabilitación participan en menor proporción a la descarbonización del sector, sin embargo, la acción en estos ámbitos resulta imprescindible por los beneficios adicionales que aportan en la dirección del uso eficiente de la energía, confort y calidad estancial en los edificios.

Reducción de emisiones por palanca de descarbonización en el sector residencial bajo el escenario *Sostenible* (%; 2015-2030)

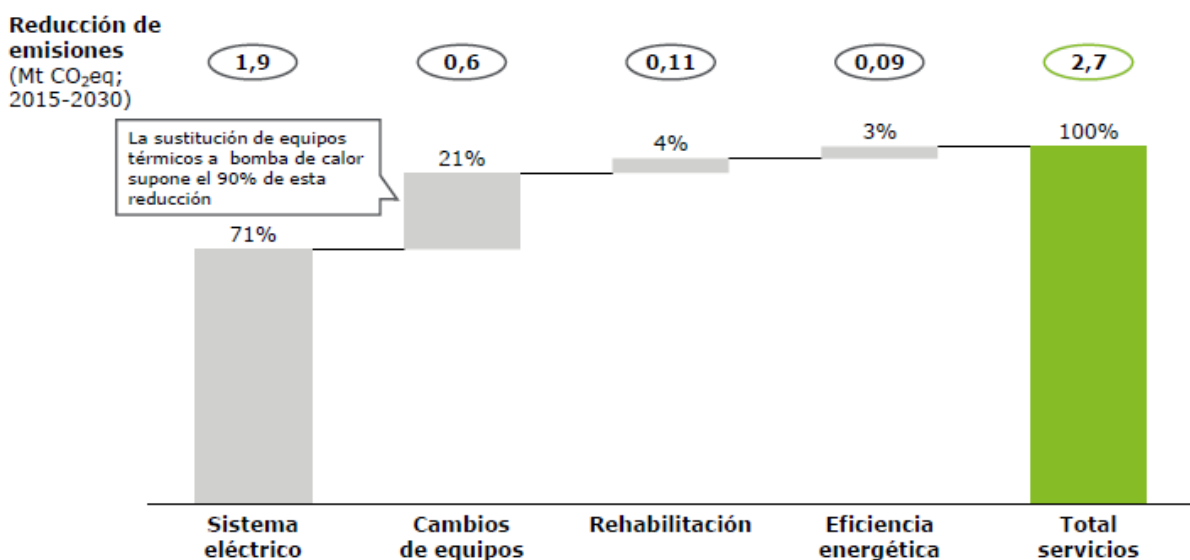


Sector servicios

El sector servicios, aquel que abarca actividad institucional y comercial, tiene también una contribución significativa en reducción de emisiones (**2,7 MtCO₂eq.**) en el periodo 2015-2030. De manera análoga al sector residencial, los volúmenes mayores de abatimiento se producen a través de la descarbonización del mix eléctrico **1,9 MtCO₂eq** (71%) y la renovación/sustitución de equipos térmicos **0,6 MtCO₂eq.** (21%).

La mayor facilidad de electrificación de este sector, así como de la implementación de equipos de bomba de calor, implica una mayor incidencia de la mejora del factor de emisión del mix eléctrico en la reducción de emisiones.

Reducción de emisiones por palanca de descarbonización en el sector servicios bajo el escenario Sostenible (%; 2015-2030)



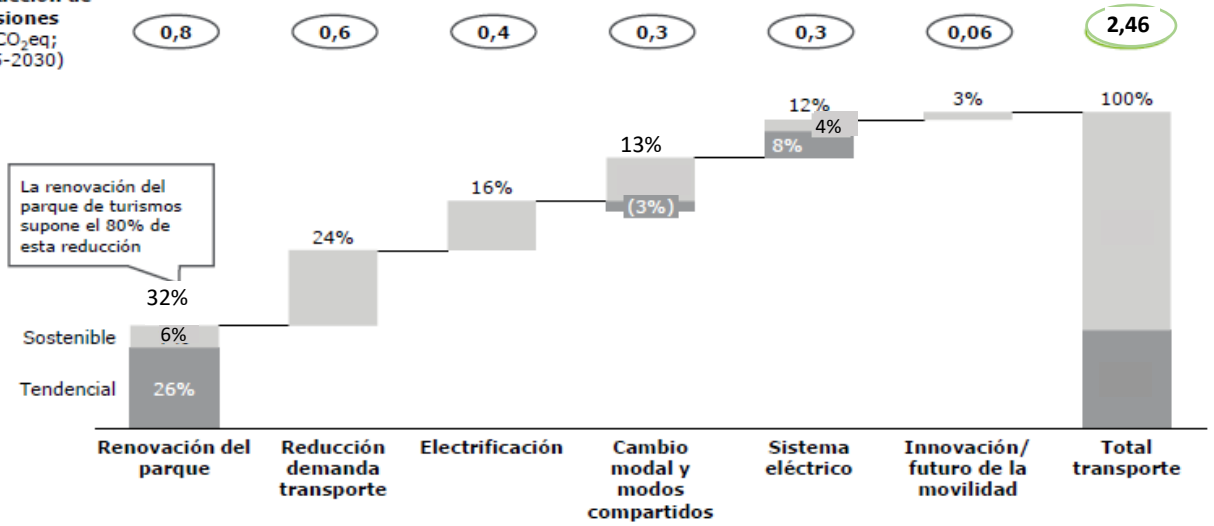
Sector transporte

La estrategia de reducción de emisiones procedentes del sector transporte se desarrolla siguiendo el esquema Evitar-Cambiar-Mejorar (Avoid-Shift-Improve, ASI). La acción combinada de la reducción de la demanda (urbanismo de proximidad, teletrabajo, eficiencia, etc.) **0,6 MtCO₂eq.** (24%), el trasvase de trayectos del vehículo privado a otros modos compartidos, **0,3 MtCO₂eq.** (13%) o la penetración de nuevas tecnologías menos emisoras.

La renovación del parque circulante requiere una mención especial. Esta palanca contribuye con la mayor reducción de emisiones **0,8 MtCO₂eq.** (32%), si bien el escenario tendencial ya incluye gran parte de esta renovación y, por tanto, el escenario sostenible abordará una parte menor de ese cambio. Por otra parte, que el escenario tendencial contemple esta acción indica un alto grado de certidumbre en su consecución.

Reducción de emisiones por palanca de descarbonización en el sector transporte bajo el escenario *Sostenible*
(%; 2015-2030)

Reducción de emisiones
(Mt CO₂eq; 2015-2030)



Abatimientos por palancas y ejes de acción 2030/2050

Sector transporte

SECTORES (1)	PALANCAS	EJES DE ACCIÓN	ABATIMIENTO EMISIONES Ktn CO _{2e4}				RETORNO ECONOMICO	LOCALES	AUTONÓMICAS	ESTATALES	EUROPEAS				
			2030		2050										
			Totales	Directas Indirectas	Totales	Directas Indirectas									
TRANSPORTE	Reducción de la demanda	Reducción desplazamientos laborales	573	567	296	295	-	x	x						
		Urbanismo de proximidad (Reduc. desplazamientos domésticos)													
		Zonas Bajas Emisiones y políticas de aparcamiento						6	1						
	Cambio Modal	Transporte público (autobus)	333	330	389	389	+	x	x						
		Transporte público (tren)													
		Movilidad no motorizada						3	0			-	x		x
		Modos compartidos (car pooling car sharing)										+	x		
	Electrificación	Electrificación parque circulante (Turismos)	286	276	411	409	+	x		x	x				
				10				3							
		Electrificación PC (Mercancías)		51				49	50	50	x	x	x		
				2				0	0						
		Electrificación PC (Autobus)		68				65	53	52	x		x		
		3	1	1											
		Electrificación flota municipal	8	7	3	2	x								
				<1	<1	<1									
	Renovación parque	Renovación parque circulante (Turismos)	660	660	308	308	-	x		x	x				
		Renovación PC (mercancías)						123	59	59	x		x		
		Renovación PC (Autobuses a GNC)						<1	<1	27	27	x		x	
	Innovación / Futuro de la movilidad	Transporte público bajo demanda	2	2	<1	0	+	x							
		Optimización de rutas								0	x				
		Hub logísticos y optimización logística						58	58	31	0	x			
	Reducción emisiones sector aéreo	Movility as a service	0		0					x					

(1) Siguiendo la clasificación EMEP-CORINAIR Inventario Emisiones del Ayuntamiento de Madrid

Abatimientos por palancas y ejes de acción 2030/2050

Sectores residencial, servicios + institucional, servicios ciudad

SECTORES (1)	PALANCAS	EJES DE ACCIÓN	ABATIMIENTO EMISIONES Ktn CO _{2e}				RETORNO ECONÓMICO	LOCALES	AUTONÓMICAS	ESTATALES	EUROPEAS
			2030		2050						
			Totales	Directas Indirectas	Totales	Directas Indirectas					
RESIDENCIAL	Rehabilitación	Rehabilitación de cubiertas, fachadas y ventanas	40	37 3	46	45 1	-	x	x	x	
	Eficiencia energética	Sistemas de control de climatización	83	77 6	91	89 2	+	x	x		
	Cambios de equipos	Sustitución a bomba de calor	330	295 35	76	73 3	-	x	x	x	
		Renovación calderas gas natural de condensación	625	625 0	639	639 0	-	x	x		
		Renovación electrodomésticos e iluminación	102	0 102	26	0 26					
	Autoconsumo	Autoconsumo residencial	6	0 6	6	0 6	+	x	x	x	
	SERVICIOS INSTITUCIONAL	Rehabilitación	Rehabilitación de cubiertas, fachadas y ventanas (Sector servicios)	111	104 7	65	62 3	-			
Rehabilitación de cubiertas, fachadas y ventanas (Sector institucional)			n.a.		n.a.						
Eficiencia energética		Smart heating and cooling, Smart lighting (Sector servicios)	88	65 23	47	38 9	+				
		Smart heating and cooling, Smart lighting (Sector institucional)	n.a.		n.a.		+				
Cambio de equipos		Sustitución a bomba de calor (Sector servicios)	558	533 25	277	265 12	-	x	x	x	
		Sustitución a bomba de calor (Sector institucional)	n.a.		n.a.		-				
		Renovación equipos eléctricos e iluminación (Sector servicios)	68	0 68	22	0 22					
		Renovación equipos eléctricos e iluminación (Sector institucional)	n.a.		n.a.						
		Mejora eficiencia equipos actuales	n.a.		n.a.						
Autoconsumo		Autoconsumo	13	0 13	13	0 13	+				
SERVICIOS CIUDAD	Alumbrado vial	Alumbrado público LED y smart lighting	33	0	0		x				
	Otras instalaciones (túneles, fuentes, semáforos..)	Sistemas de control y renovación de equipos		33			x				

(+) Acciones con retorno económico en corto-medio plazo. Se pueden autofinanciar

(-) Acciones que requieren apoyo financiero

Sectores residuos, industria+otros

SECTORES (1)	PALANCAS	EJES DE ACCIÓN	ABATIMIENTO EMISIONES Ktn CO _{2eq}				VIABILIDAD ECONÓMICA	LOCALES	AUTONÓMICAS	ESTATALES	EUROPEAS
			2030		2050						
			Totales	Directas Indirectas	Totales	Dierctas Indrectas					
RESIDUOS	Reducción de generación de residuos	Fomento dela economía circular	185		179				x	x	
	Incremento tasas de reciclaje	Tasa de compostaje									
		Incremento tasas de reciclaje en sectores residencial, servicios y municipal									
INDUSTRIAS OTROS	Reducción del impacto de gases refrigerantes y disolventes	Reducción del impacto de gases refrigerantes	426		171					x	
	Reducción de las emisiones en el sector industrial	Mejora de eficiencia de procesos industriales y electrificación de consumos	100		120						

SECTORES (1)	PALANCAS	EJES DE ACCIÓN	ABATIMIENTO EMISIONES				VIABILIDAD ECONÓMICA	LOCALES	AUTONÓMICAS	ESTATALES	EUROPEAS
			2030		2050						
			Totales	Directas Indirectas	Totales	Dierctas Indrectas					

Volumen de reducción de emisiones por palancas y ejes de

Administración con mayor incidencia en el desarrollo de las

Principales hipótesis

La hoja de ruta de la ciudad de Madrid hacia la neutralidad climática se desarrolla a través de 5 ejes de acción:

- Establecer modelos de gobernanza y objetivos de sostenibilidad energética.
- Favorecer el transporte sostenible de pasajeros y mercancías.
- Fomentar la eficiencia energética y las fuentes energéticas de origen renovable en la edificación.
- Contribuir desde la administración municipal con el ejemplo de modelos energéticos sostenibles.
- Mejorar la sostenibilidad de la gestión de residuos, la industria y el aeropuerto de Barajas.

A partir de estos ejes, la ruta de neutralidad se plantea de acuerdo con hipótesis estratégicas para cada uno de los sectores de análisis. Estas hipótesis se aplican a las principales palancas de reducción de emisiones.

Hipótesis sector residencial

La penetración de **bomba de calor** en sustitución de los sistemas convencionales de climatización (de combustión y eléctricos) resulta fundamental dado el superior rendimiento energético de estos sistemas ($\approx 200-300\%$ frente a $90-100\%$ calentadores eléctricos).

El escenario tendencial contempla la sustitución en el corto plazo de las calderas térmicas convencionales, tanto de gas como de otros combustibles (productos petrolíferos, carbón) a **calderas de gas natural de condensación eficientes**, mejorando significativamente el rendimiento de estos equipos ($\approx 110\%$ frente a $70-90\%$ calderas convencionales).

La rehabilitación energética de edificios es otra de las palancas clave. Estas intervenciones comprenden cambio de ventanas (ahorros $10-15\%$), rehabilitación de fachadas (ahorros $30-50\%$) y rehabilitación de cubiertas (ahorros $5-15\%$). La intervención integral de un edificio que recoja todas estas actuaciones puede llegar a alcanzar ahorros en el consumo de calefacción del $60-70\%$ ¹.

¹ Estimaciones sobre edificios de viviendas anteriores a 1980.

PALANCAS	ESCENARIOS				
	TENDENCIAL	SOSTENIBLE		EXTENDIDO	
		2030	2050	2030	2050
Penetración Bomba de Calor	Solo renovaciones, no instalaciones adicionales	Incremento superficie anual ~0,9 % 12.000 nuevas unidades año	Entre 2030- 2050 Incremento superficie ~0,9% 14.000 nuevas unid. año	Incremento superficie anual ~1,2 % 17.000 nuevas unidades año	Entre 2030- 2050 Incremento o superficie ~1,5% 24.000 nuevas unid. año
Renovación de calderas de gas natural	Renovación al final de vida útil (~15 años) ~40.000 calderas/año	Renovación cada ~13 años. ~50.000 calderas/año	Renovación cada ~13 años. ~50.000 calderas/año	Renovación cada ~12 años. ~60.000 calderas/año	Renovación cada ~8- 9 años. ~80.000 calderas/año
Rehabilitación	No se consideran rehabilitaciones	Rehabilitación ~ 1% superf/año 13.000 rehab./año	Rehabilitación ~ 1% superf/año hasta 2050 16.000 rehab./año	Rehabilitación ~ 1.5% superf/año 20.000 rehab./año	Rehabilitación ~ 1.5% superf/año o hasta 2050 24.000 rehab./año

Hipótesis sector servicios

La **bomba de calor** puede tener una penetración más rápida en el sector servicios que en el residencial, dadas las circunstancias más favorables de este tipo de edificación con mayores demandas de climatización y mejores condiciones constructivas de instalación.

En este sector también se espera una mejora de la eficiencia debida a la **sustitución de equipos térmicos convencionales por los de gas natural de alta eficiencia**. El **control inteligente de iluminación y sistemas de calefacción** permite alcanzar reducciones de consumo del 15 al 30%.

De manera análoga al sector residencial, la **rehabilitación energética de edificios dedicados a servicios**, con actuaciones en ventanas (ahorros 10-15%), fachadas (ahorros 30-50%) y cubiertas (ahorros 5-15%) pueden alcanzar ahorros en el consumo de calefacción del 60 al 70%.

PALANCAS	ESCENARIOS				
	TENDENCIAL	SOSTENIBLE		EXTENDIDO	
		2030	2050	2030	2050
Penetración Bomba de Calor	Ritmo actual de penetración	Instalación anual del 2,7% de la superficie	Instalación anual del 2,7% de la superficie	Instalación anual del 3% de la superficie	Instalación anual del 3% de la superficie
Smart heating & cooling. Smart lighting	No se consideran instalaciones	Instalación anual del 2,7% de la superficie	Instalación anual del 2,7% de la superficie	Instalación anual del 3% de la superficie	Instalación anual del 3% de la superficie
Rehabilitaciones	No se realizan rehabilitaciones	Instalación anual del 1,5% de la superficie	Instalación anual del 1,5% de la superficie	Instalación anual del 1,5% de la superficie	Instalación anual del 1,5% de la superficie

Hipótesis sector transporte

La descarbonización debe ser consecuencia también de la transformación de los esquemas de movilidad actuales y los estilos de vida. Estos nuevos modelos deben orientarse a la **reducción de la demanda del transporte** a través del fomento del teletrabajo, el desarrollo de un urbanismo de proximidad o el cambio de comportamientos de transporte y consumo.

El **cambio modal de transferencia de viajes del vehículo particular** ($\approx 180-200$ gCO₂/pasajero-km) **al transporte público**, permite la reducción de GEI por pasajero-km que puede llegar al 70% en el caso de producirse al autobús convencional (≈ 50 gCO₂/pasajero-km) y más de un 90% si esta se produce al tren o metro (≈ 5 gCO₂/pasajero-km).

El **cambio modal a transporte motorizado** (a pie, bicicleta, ...) se considera que se ve fomentado por el desarrollo de carriles específicos, impulso de aparcamiento dedicado, impulso a sistemas de alquiler, etc.

La **penetración del vehículo eléctrico, en sustitución del vehículo de tecnologías convencionales**, implica una reducción de emisiones. Las emisiones GEI del vehículo eléctrico son de 6 a 7 veces inferiores a las de un vehículo convencional EURO III, de 4 a 5 veces inferiores a las de uno EURO IV y de 2 a 3 veces a las de uno EURO VI.

La **renovación del parque de vehículos antiguos convencionales por otros más eficientes y menos contaminantes** es la palanca de mayor potencial de abatimiento de emisiones en el periodo 2030-2050. La mayor parte de esta renovación ya está contemplada en el escenario tendencial, al que se suma el esfuerzo adicional en el escenario sostenible. Un vehículo antiguo diésel Euro III emite 2 veces más que un vehículo diésel Euro VI nuevo.

Se prevé que el **sector aéreo** crezca de manera proporcional al crecimiento anual de trayectos y pasajeros. Se contemplan acciones de reducción de emisiones en el escenario extendido de 2050 por el uso de combustibles menos emisores aún no disponibles comercialmente.

PALANCAS	ESCENARIOS				
	TENDENCIAL	SOSTENIBLE		EXTENDIDO	
		2030	2050	2030	2050
Reducción de la demanda en el transporte	Crecimiento anual de los trayectos 0.5 %	Reducción anual de trayectos 1.5%	Reducción anual de trayectos 1.5%	Reducción anual de trayectos 1.5%	Reducción anual de trayectos 1.5%
Cambio modal pasajeros	No motorizado 31% Transporte público 32% Vehículo privado 37%	No motorizado 30% Transporte público 40% Vehículo privado 30%	No motorizado 46% Transporte público 45% Vehículo privado 9%	No motorizado 46% Transporte público 45% Vehículo privado 9%	No motorizado 47% Transporte público 45% Vehículo privado 8%
Penetración vehículo eléctrico	Penetración actual ≈ 0%	≈ 20% ≈290.000	≈ 100% ≈1.450.000	≈ 40% ≈ 580.000	≈ 100% ≈1.450.000
Renovación del parque de vehículos	Incremento de la edad actual del parque hasta 11-12 años	Disminución de la edad media del parque hasta 9-10 años	Disminución de la edad media del parque hasta 6-7 años	Disminución de la edad media del parque hasta 6-7 años	Disminución de la edad media del parque hasta 6-7 años
Sector aéreo	Crecimiento de emisiones 0.5% anual hasta 2030 y 0.25% hasta 2050 Tasas de crecimiento proporcional al crecimiento de trayectos	Reducción anual de emisiones 1,50% Tasas de crecimiento proporcional al crecimiento de trayectos	Reducción anual de emisiones 1,50% Tasas de crecimiento proporcional al crecimiento de trayectos	Reducción anual de emisiones 1,50% Tasas de crecimiento proporcional al crecimiento de trayectos	Reducción anual de emisiones 5,10% Posibilidad de uso de combustibles no contaminantes, fase piloto

Hipótesis otros sectores (sector eléctrico)

PALANCAS	ESCENARIOS				
	TENDENCIAL	SOSTENIBLE		EXTENDIDO	
		2030	2050	2030	2050
Factor de emisión del sector eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del ~60% (2030 vs. 2015) (según el escenario tendencial del PNIEC) • Reducción del 100% (2050 vs. 2030) • Generación eléctrica a partir de fuentes renovables: 51% en 2030 y 100% en 2050 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del ~85% (2030 vs. 2015) (según el escenario objetivo del PNIEC) • Generación eléctrica a partir de fuentes renovables: 73% 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción 100% de emisiones en 2050 • Generación eléctrica neutra en emisiones GEI 100% 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del ~85% (2030 vs. 2015) (según el escenario objetivo del PNIEC) • Generación eléctrica a partir de fuentes renovables: 73% 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción 100% de emisiones en 2050 • Generación eléctrica neutra en emisiones GEI 100%
Reducción anual de emisiones en otros	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del 5,9% anual de emisiones (según el escenario tendencial del PNIEC, coincidente con el escenario objetivo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del 5,9% anual de emisiones (según el escenario objetivo del PNIEC) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del 5,9% anual de emisiones (según el escenario objetivo del PNIEC) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del 5,9% anual de emisiones (según el escenario objetivo del PNIEC) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del 5,9% anual de emisiones (según el escenario objetivo del PNIEC)

La **evolución del sector eléctrico** es determinante en la consecución de los objetivos de descarbonización. La reducción del factor de emisiones del mix eléctrico por la penetración de energías renovables y el cierre paulatino de centrales térmicas convencionales (centrales de carbón y ciclo combinado) son las hipótesis principales de su evolución.

Hipótesis otros sectores (sector tratamiento de residuos)

La **reducción de emisiones derivadas del tratamiento de residuos** se aborda a través del descenso de su generación mediante el fomento de la prevención, la mejora de la recogida selectiva, el incremento de las tasas de reciclaje, la mejora en las tecnologías de tratamiento y reducción de emisiones, así como a través del avance en los planteamientos de la economía circular.

La **reducción de emisiones en el sector industrial** se alcanzará mejorando la eficiencia energética por mejoras en las tecnologías y sistemas de gestión de procesos industriales, y el incremento de la electrificación en el mix de consumos finales.

En el escenario extendido se considera la descentralización de la industria como factor de descarbonización en el municipio.

La sustitución de gases fluorados de alto potencial de calentamiento por gases de menor o nulo efecto se considera en la hipótesis de descarbonización.

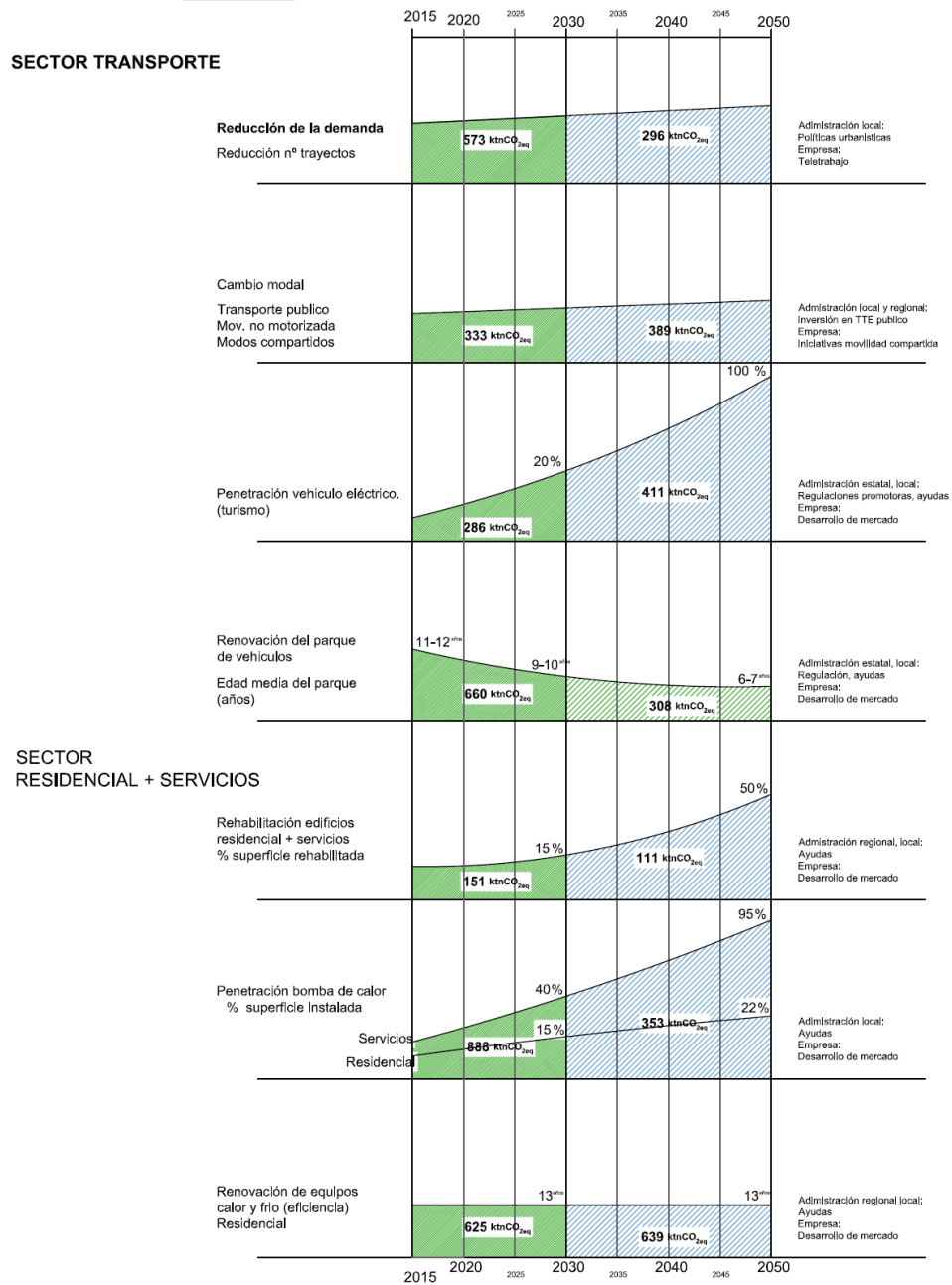
PALANCAS	ESCENARIOS				
	TENDENCIAL	SOSTENIBLE		EXTENDIDO	
		2030	2050	2030	2050
Reducción anual de emisiones en residuos	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del 1,1% anual de emisiones (según el escenario tendencial del PNIEC) 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del 2,6% anual de emisiones (según el objetivo PNIEC) 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del 2,6% anual de emisiones (según el objetivo PNIEC) 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del 2,6% anual de emisiones (según el objetivo PNIEC) 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del 5,2% anual de emisiones Se considera el uso de tecnologías avanzadas de tratamiento de residuos y tasas ambiciosas de reciclaje y economía circular
Reducción anual de emisiones en industria	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del 0,7% anual de emisiones (según el escenario tendencial del PNIEC) 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del 1,3% anual de emisiones (según el objetivo PNIEC) 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del 1,3% anual de emisiones (según el objetivo PNIEC) 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del 8,3% anual de emisiones Se considera cierta descentralización de la industria del Ayto. de Madrid hacia zonas circundantes 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del 6,7% anual de Se considera cierta descentralización de la actual industria del Ayto. de Madrid hacia zonas circundantes

Reforestación •No se considera una plantación adicional de árboles •Se considera una plantación de 200.000 árboles adicionales •Se considera una plantación de 400.000 árboles adicionales •Se considera una plantación de 300.000 árboles adicionales •Se considera una plantación de 600.000 árboles adicionales

ABATIMIENTO DE EMISIONES DE LAS PRINCIPALES PALANCAS

Período 2015 - 2030

Período 2030 - 2050

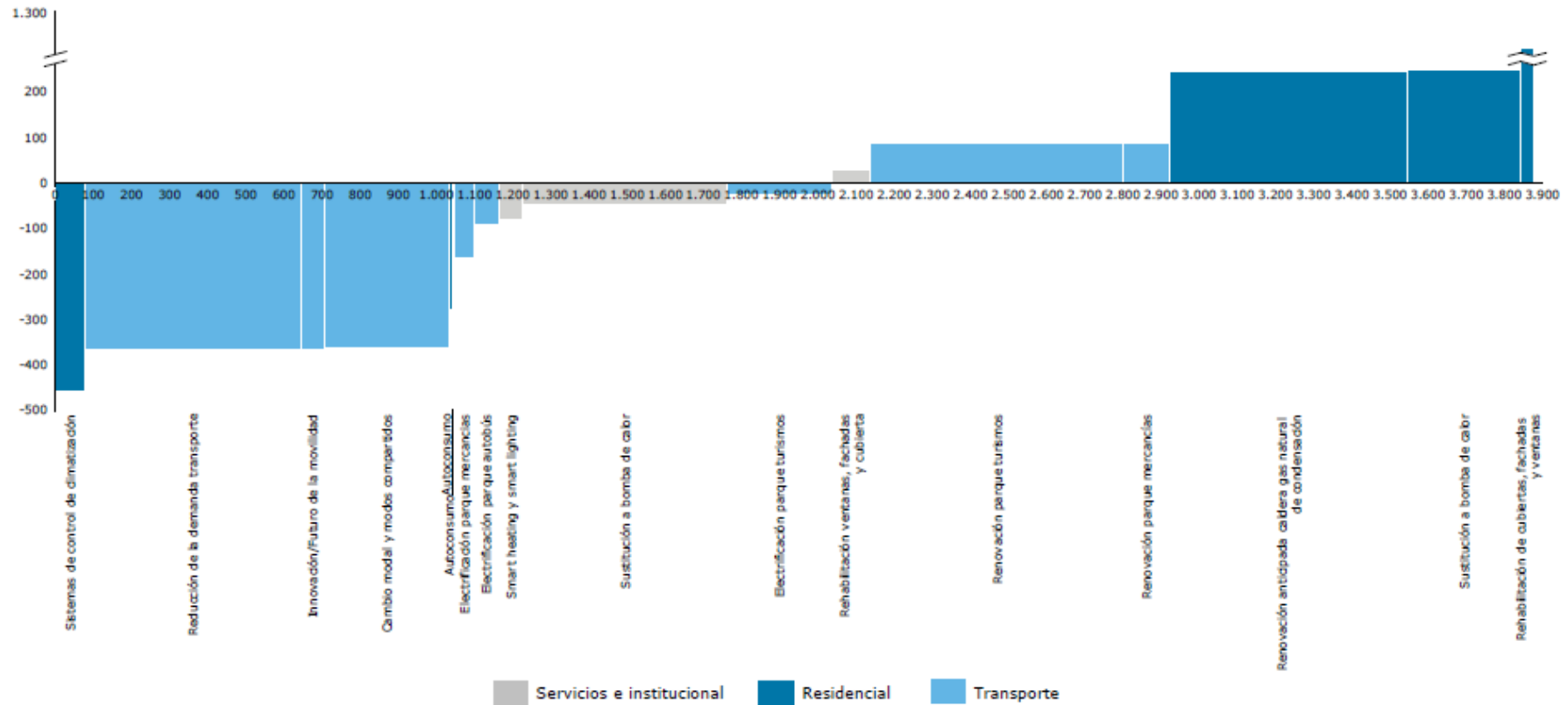


5**Análisis económico**

La herramienta utilizada para relacionar la eficiencia de las palancas y medidas propuestas, tanto por su potencial de reducción de emisiones (CO₂ eq) como por su coste (€2016) es la Curva de Abatimiento. Este análisis nos proporciona una visión de conjunto de las palancas propuestas en la hoja de ruta de la ciudad de Madrid hacia la neutralidad y permite dar prioridad a la ejecución de las medidas que, con un menor coste, ofrecen un mayor potencial de reducción de emisiones directas de CO₂ eq. El coste de abatimiento se define como los costes adicionales (o beneficios percibidos) de reemplazar una tecnología de referencia (de uso común) por una alternativa de bajas emisiones.

Algunas de las actuaciones propuestas que ofrecen un mayor potencial para la reducción de emisiones directas en el periodo 2015-2030 requerirán un impulso por parte de las Administraciones competentes que permita incentivar los cambios de equipos o de hábitos.

Curva de abatimiento (emisiones directas) para la ciudad de Madrid entre 2030 y 2015⁽¹⁾ (€₂₀₁₆/tCO₂eq)



(1): No incluye el abatimiento de emisiones directas de los sectores residuos, industria ni otros
Fuente: Ayuntamiento de Madrid

El 24% de la reducción de emisiones para el año 2030 se consigue con medidas económicamente viables, mientras que el 22% con medidas que requieren del apoyo financiero de las administraciones competentes.

Es importante hacer un análisis a nivel de sector o palanca para identificar qué medidas ofrecen un mayor potencial.

En la palanca transporte, la acción que ofrece un mayor potencial de reducción de emisiones es la renovación del parque circulante, que permitirá dejar de emitir 0,9 Mt CO₂eq en el periodo 2015-2030. Su coste de abatimiento es positivo (100 €₂₀₁₆/ tCO₂eq), lo que significa que para su implementación es necesaria la articulación de programas de ayudas e incentivos que fomenten la renovación del parque de vehículos incorporando las tecnologías más eficientes en automoción. La electrificación del parque de vehículos, con un coste de abatimiento negativo, también jugará un importante papel en la descarbonización del transporte y permitirá alcanzar un ahorro acumulado de emisiones directas de 0,3 Mt CO₂eq en el periodo 2015-2030.

Las actuaciones que permiten reducir un mayor volumen de emisiones directas de GEI con un menor coste son las centradas en la reducción de la demanda de transporte, el cambio modal y el fomento de los modos compartidos de movilidad, con un potencial de reducción conjunto que alcanza las 0,9 Mt CO₂eq en el periodo 2015-2030.

En el sector residencial, las acciones que tienen un mayor potencial de reducción de emisiones directas (1 Mt CO₂eq) tienen un coste de abatimiento positivo (≈ 200 €₂₀₁₆/tCO₂eq). Para su puesta en marcha será necesario articular programas de incentivos para la sustitución de calderas y equipos de climatización y permitan incorporar calderas modernas de gas natural de condensación y bombas de calor que incorporen tecnología basada en aerotermia. Medidas como la rehabilitación de edificios ofrecen un escaso potencial de reducción de emisiones directas y un coste de abatimiento elevado, aun así, la ciudad de Madrid seguirá articulando programas de ayudas centrados en la renovación del parque de viviendas.

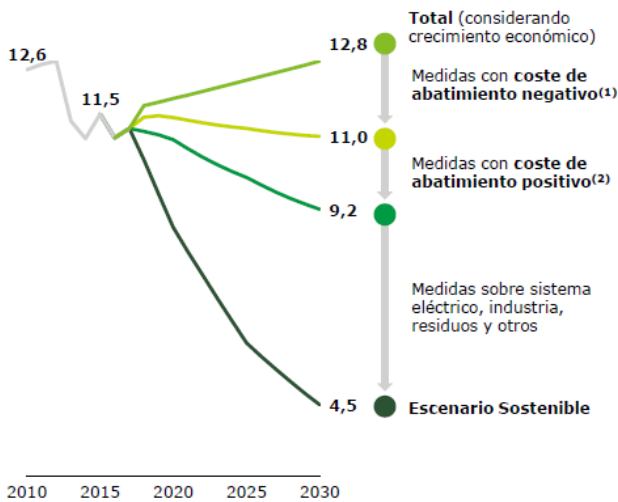
La acción que mayor impacto generará en la reducción de emisiones en el sector residencial es la reducción de emisiones del sector eléctrico a nivel nacional, contemplada en el PNIEC, con un potencial de 1,8 Mt CO₂eq. Ésta no se ha incluido en el análisis de abatimiento debido a que las emisiones del sector eléctrico entran bajo la categoría de las emisiones indirectas.

En el sector servicios hay que destacar el enorme potencial que ofrece la tecnología de la bomba de calor, con una estimación de reducción de las emisiones directas para el periodo 2015-2030 que alcanza las 0,5 Mt CO₂eq y un coste de abatimiento negativo, que permitirá al sector acometer la renovación del parque de edificios amortizando las inversiones en un breve periodo de retorno.

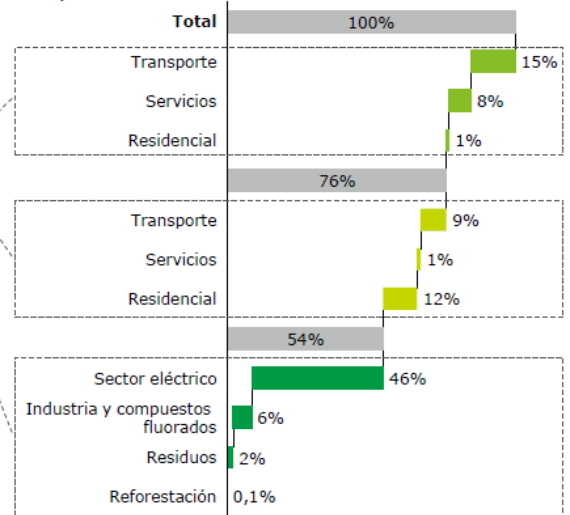
Como en el sector residencial la acción que mayor impacto generará en la reducción de emisiones de CO₂eq. en el sector residencial, es la reducción de emisiones del sector eléctrico a nivel nacional, contemplada en el PNIEC, con un potencial de 1,9 Mt CO₂eq. Ésta no se ha incluido en el análisis por estar también bajo la categoría de las emisiones indirectas.

En la siguiente tabla se relaciona la evolución de los diferentes escenarios de emisiones con el potencial de abatimiento de las medidas propuestas en las diferentes palancas:

Evolución de emisiones 2010-2030 según el tipo de medidas aplicadas (económicas, técnicas o sobre el sistema eléctrico) (Mt CO₂eq; 2010-2030)



Abatimiento de emisiones por sector según tipología de medidas (%; 2030)



(1): Medidas a través de las cuales se genera un ahorro económico
 (2): Medidas a través de las cuales se genera un coste económico
 Fuente: Ayuntamiento de Madrid

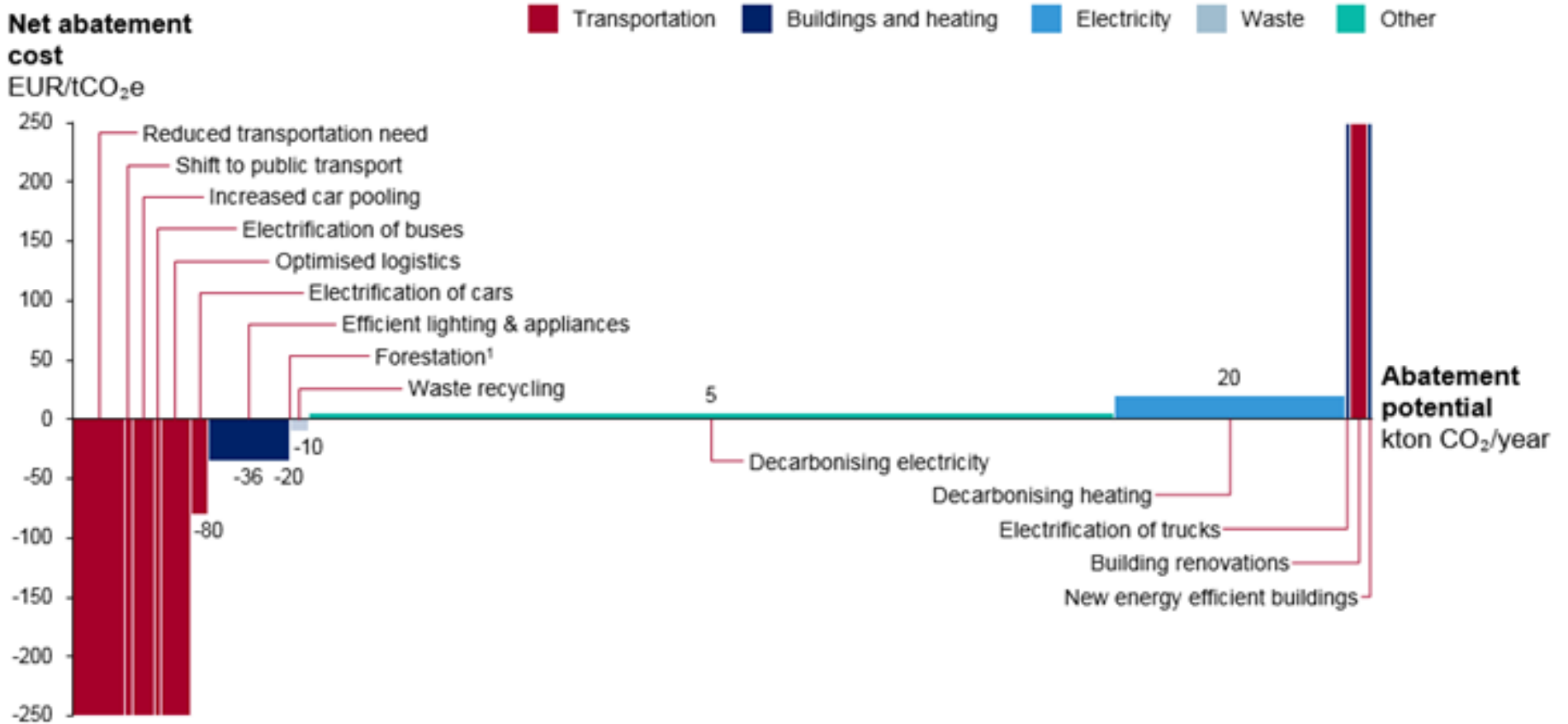
El análisis económico propuesto en el estudio “*Economic case for decarbonisation in Madrid*”, por *Material Economics* (Iniciativa Climate-KIC), centra su análisis del potencial de abatimiento de las palancas propuestas en el ámbito de las emisiones totales de CO₂ eq en el periodo 2020-2050.

Como principal conclusión hay que destacar que la descarbonización del sistema eléctrico se configura como la actuación más relevante en la hoja de ruta hacia la neutralidad climática de la ciudad de Madrid. Su reducido coste de abatimiento en términos de €/tCO₂eq y su elevado potencial de reducción de las emisiones de GEI la convierten en una palanca estratégica de la que depende el éxito de otras medidas. La descarbonización de los sistemas de climatización y agua caliente sanitaria en el sector residencial y servicios, y la incorporación de dispositivos eficientes energéticamente, jugarán también un papel relevante con bajos costes de abatimiento y un elevado potencial de reducción de emisiones.

Madrid abatement cost curve

kton CO₂e emissions in 2030, abatement costs and benefits annualised based on investments in 2020-2030, and recurring costs/savings and co-benefits in 2020-2050¹

Net abatement cost
EUR/tCO₂e



¹. Very small abatement at 4kt/year, so lever does not show up properly in graph
Source: Material Economics analysis

6 Coordinación entre administraciones y colaboración público-privada

La neutralidad en carbono no puede abordarse actuando exclusivamente sobre los focos de emisión, si no que requiere una transformación social que cambie paradigmas y estilos de vida actuales. Se trata de una labor coral en la que deben implicarse numerosos actores, desde las administraciones, al sector privado, la academia y los ciudadanos.

La visión estratégica, el marco legal y normativo y el impulso económico de las administraciones resultan cruciales. La acción local de los ayuntamientos se encuentra en muchos casos condicionada por los contextos que ofrecen administraciones de mayor rango. En este sentido, políticas de la EU como el European Green Deal, o como la comunicación de la Comisión europea para intensificar la ambición climática de Europa para 2030, proponiendo una reducción de emisiones del 55% para 2030 (vs 1990), sin ser vinculantes marcan el camino de las políticas municipales.

Las políticas estatales son determinantes para la consecución de los objetivos y el desarrollo de los planes locales. Son fundamentales en el desarrollo de cuerpos legales, normativas y directrices técnicas y, de manera específica en la configuración del mix energético y eléctrico sobre el que reposan el nuevo modelo energético y las estrategias de neutralidad. Las políticas estatales para los próximos años se proyectan en la Ley Estatal de Cambio Climático, el PNIEC o la Estrategia a Largo Plazo (ELP), coincidentes todas ellas en el objetivo de la neutralidad para el año 2050.

Esta hoja de ruta integra los planes estatales en la acción local. Integra el objetivo de incremento de la presencia de fuentes renovables en la generación de electricidad hasta el 74%, o el principio de la eficiencia energética en el horizonte temporal de 2030, según recoge el PNIEC y la neutralidad en carbono para 2050 del ELP.

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) y la Oficina Española de Cambio Climático, responsables del desarrollo de las políticas estatales, son actores clave en este proceso con los que desde el ámbito local se mantiene comunicación continua con el fin de alinear acciones.

La academia es otro de los pilares de la acción climática en la ciudad de Madrid. La relación con este actor se produce en varios niveles. La Universidad Politécnica de Madrid por encargo del Ayuntamiento elabora anualmente los inventarios de emisiones de la ciudad y otros estudios sectoriales como el estudio del parque circulante que dan base a los inventarios.

En otro contexto, la relación con la universidad se ha consolidado con la aprobación, en Pleno Municipal de julio de 2020, de la adhesión del municipio a la iniciativa europea para la innovación en acción climática Climate-KIC y el proyecto Deep Demo. Esta iniciativa, que convoca a numerosos actores de diversos ámbitos, tiene el objetivo de investigar y ensayar acciones para alcanzar la neutralidad en carbono antes del 2050. Formar parte de ella ha permitido la creación de una plataforma de trabajo en la que existe representación de la administración local, empresas privadas de referencia en sectores estratégicos,

especialmente el energético y la planificación urbana, y la propia academia. En este espacio la universidad, a través del Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo (ITD), actúa de conector de la relación público-privada, con los grupos de investigación e innovación en múltiples ámbitos.

Una de las primeras acciones de esta plataforma ha sido la creación de una herramienta de colaboración interdepartamental (“Grupo Clima 360”) que conecta distintos servicios de la estructura municipal considerados claves en el desarrollo de la acción climática, como medio ambiente, planificación urbana, innovación, gestión presupuestaria y económica, energía, movilidad, patrimonio, cultura, etc. Este equipo de trabajo permite abordar de manera integral los retos climáticos y conectar proyectos en desarrollo.

La hoja de ruta implica también un profundo cambio social, por ello, la ciudadanía debe tomar parte en el proceso, evolucionar en hábitos y estilos de vida, pero también participar en las decisiones. La participación ciudadana tiene antecedentes en numerosas experiencias asociadas a proyectos, pero a través de la plataforma creada en torno a Climate-KIC se pretende sistematizar esa implicación de las personas, establecer canales directos de relación y crear marcos de colaboración estables.

La dimensión global y compleja de la crisis climática requiere el trabajo en red. En este sentido el la Hoja de Ruta muestra un camino que no puede recorrerse de manera aislada. Resulta fundamental la conexión con otras ciudades compartiendo conocimiento y experiencia. En el ámbito estatal, Madrid forma parte de la Red de Ciudades por el Clima de la Federación Española de Municipios y Provincias, y en la escena internacional se integra en iniciativas como el Pacto de Alcaldías por la Energía el Clima o el Grupo de Ciudades por el Liderazgo Climático C40.

7 Acciones y procesos clave del ámbito municipal

Una vez identificadas las principales palancas de transformación y analizado el marco competencial, es necesario establecer prioridades de acción en el ámbito municipal que permitan maximizar el impacto en aquellas áreas en las que el Ayuntamiento puede intervenir de forma más directa. En ese sentido, pueden distinguirse dos niveles de actuación: identificación de palancas clave de acción municipal y procesos habilitadores de implementación y escalado

Para la priorización desde el ámbito municipal de estas acciones hay que tener en cuenta, evidentemente, el peso en términos de potencial de reducción de emisiones, pero este no debe ser el criterio único, sino que hay que incidir especialmente en actuaciones transformadoras que impliquen una modificación en el modelo establecido de comportamiento (“business as usual”) hacia otros esquemas más sostenibles acordes con el escenario ambicioso que se persigue.

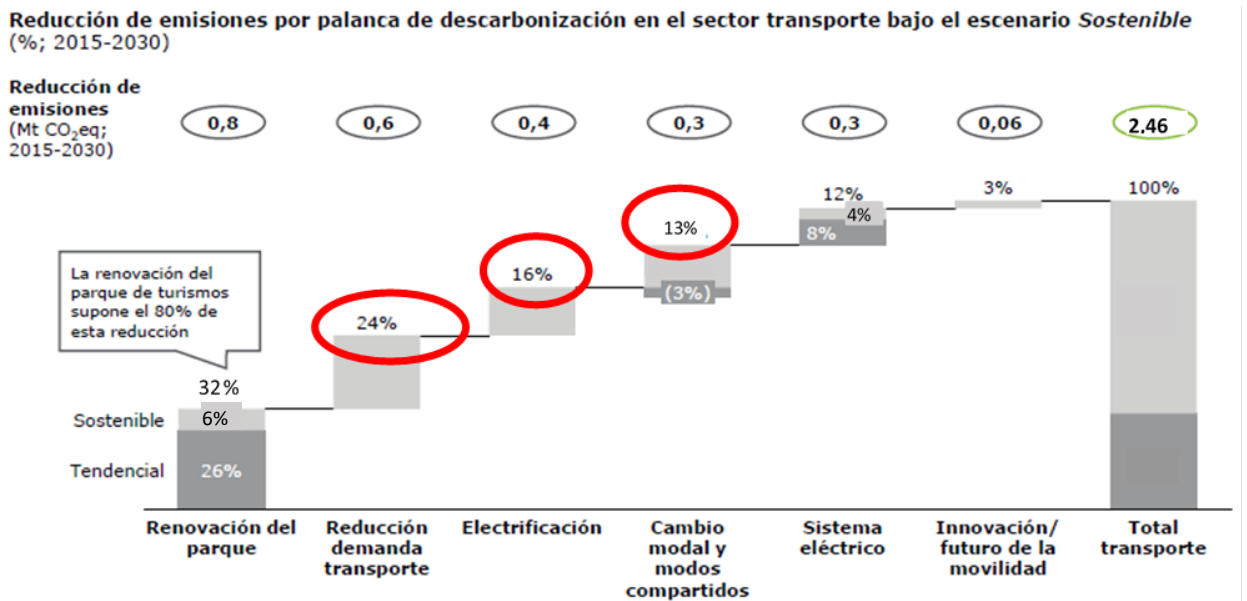
Acciones clave

A partir del contenido del Capítulo 4, relativo a las palancas de transformación por sectores, y teniendo en cuenta los análisis económicos y competenciales de los capítulos 5 y 6, se puede establecer un criterio de priorización en la actuación a escala municipal.

Sector transporte

Si bien la renovación del parque de vehículos es la acción que reporta una mayor reducción de emisiones, hay que tener en cuenta que tiene un carácter incremental y no transformador, ya impulsado de forma natural por el escenario tendencial, por lo que únicamente se contemplan medidas habituales para acortar los ciclos de renovación como líneas de subvenciones, políticas fiscales incentivadoras para vehículos menos contaminantes y fomento de normativa exigente relativa a los valores máximos de emisiones para vehículos.

Por el contrario, la hoja de ruta hacia la neutralidad climática asigna un peso importante a otros ejes de acción para los que es necesario generar políticas innovadoras y que siguen el concepto jerárquico de acciones de movilidad A-S-I (Avoid-Shift-Improve: Evitar-Cambiar-Mejorar).



REDUCCIÓN DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE

Las acciones dirigidas a reducir la necesidad de viajes motorizados y la longitud de los recorridos a través de un urbanismo a escala humana, con usos mixtos y de proximidad, la flexibilización de horarios y el teletrabajo, así como herramientas innovadoras de gestión de la demanda resultan fundamentales en la hoja de ruta

CAMBIO MODAL Y MODOS COMPARTIDOS

Madrid parte de una situación privilegiada en lo referente a red de transporte público, contribución de la movilidad peatonal en la distribución modal e iniciativas de movilidad compartida. Esta situación es, sin embargo, frágil y debe ser impulsada mediante acciones decididas hacia la movilidad activa, la mejora del servicio del transporte público y la accesibilidad generalizada a los esquemas compartidos.

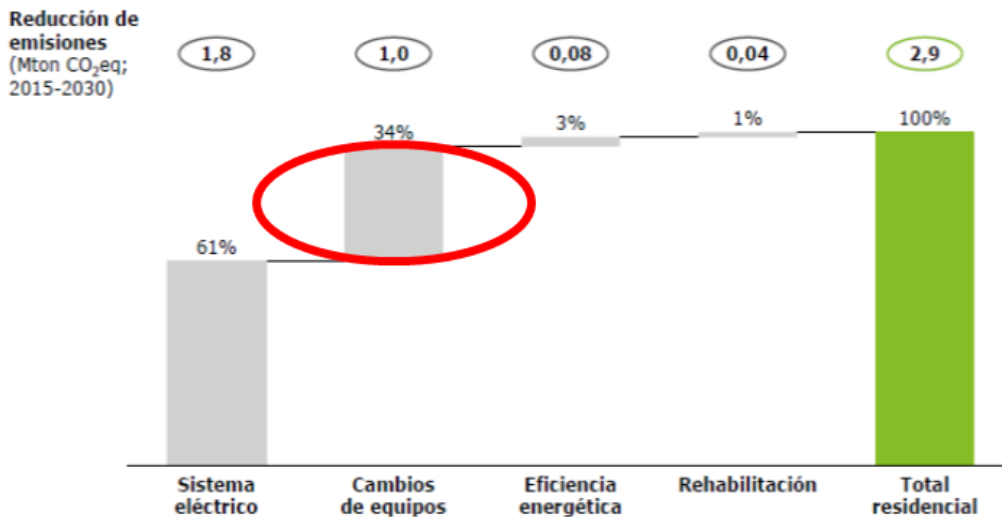
ELECTRIFICACIÓN

El impulso de la movilidad eléctrica, fundamentalmente aquel asociado a flotas clave como transporte público, distribución urbana de mercancías o modelos de movilidad compartida, es crucial y será objetivo principal de las acciones municipales de la hoja de ruta.

Sector residencial

La prioridad se dirige a las acciones de transformación tecnológica hacia elementos de bajas emisiones.

Reducción de emisiones por palanca de descarbonización en el sector residencial bajo el escenario *Sostenible* (%; 2015-2030)



SECTORES (1)	PALANCAS	EJES DE ACCIÓN	ABATIMIENTO EMISIONES Ktn CO ₂ eq				RETORNO ECONÓMICO	LOCALES	AUTONÓMICAS	ESTATALES	EUROPEAS
			2030		2050						
			Totales	Directas Indirectas	Totales	Directas Indirectas					
RESIDENCIAL	Rehabilitación	Rehabilitación de cubiertas, fachadas y ventanas	40	37 3	46	45 1	-	x	x	x	
	Eficiencia energética	Sistemas de control de climatización	83	77 6	91	89 2	+	x	x		
	Cambios de equipos	Sustitución a bomba de calor	330	295 35	76	73 3	-	x	x	x	
		Renovación calderas gas natural de condensación	625	625 0	639	639 0	-	x	x		
		Renovación electrodomésticos e iluminación	102	0 102	26	0 26					
	Autoconsumo	Autoconsumo residencial	6	0 6	6	0 6	+	x	x	x	

La renovación por equipos más eficientes es, sin duda, una línea de acción necesaria en términos de reducción de emisiones, pero es la transformación de tecnología y de hábitos la que precisa de una mayor atención y destino de recursos. Conforme a este enfoque multicriterio merece destacar tres objetivos prioritarios:

INTEGRACIÓN DE LA BOMBA DE CALOR

Promover la electrificación de la demanda en la climatización doméstica es el principal objetivo a escala municipal, ello implica herramientas que permitan incrementar la accesibilidad a sistemas de calor/frío tanto desde la perspectiva técnica, con un necesario impulso en la innovación tecnológica, como desde la económica para permitir su implantación de una forma generalizada.

El acompañamiento del sector privado es fundamental.

SISTEMAS DE CONTROL DE CLIMATIZACIÓN

La incorporación de herramientas de control de consumos conlleva una concienciación, por parte del ciudadano, de su capacidad en lo relativo a la gestión, consumos e incluso generación.

La información en línea de forma accesible y clara sobre consumos y costes permitirá crear una cultura de la eficiencia y empoderar al consumidor.

RENOVACIÓN DE CALDERAS DE GAS NATURAL

Diversas acciones de apoyo municipal pueden acortar los ciclos de renovación hacia modelos más eficientes. Dado el uso generalizado del gas natural en calefacción doméstica, la renovación con calderas de condensación de alta eficiencia tiene un significativo impacto potencial en emisiones.

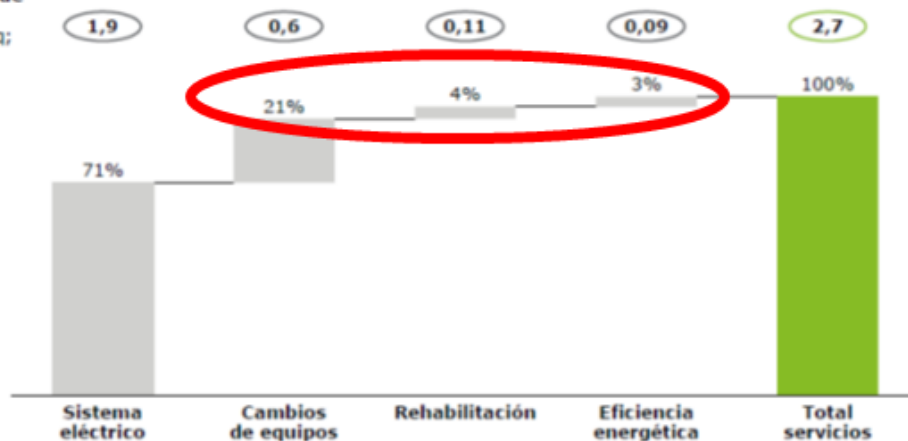
No obstante, el gas natural debe considerarse como un combustible de transición hacia otras opciones tecnológicas que permitan alcanzar la neutralidad climática.

Sector servicios

La acción en el sector comercial e institucional es clave en la ciudad de Madrid, con un impacto prácticamente equivalente al residencial en lo relativo a la reducción de emisiones. Las principales palancas de descarbonización a priorizar a escala municipal incluyen la renovación de equipos, la rehabilitación y la eficiencia energética.

Reducción de emisiones por palanca de descarbonización en el sector servicios bajo el escenario *Sostenible* (%; 2015-2030)

Reducción de emisiones
(Mton CO₂eq;
2015-2030)



Los ejes de acción concretos a destacar dentro de estas palancas son:

SUSTITUCIÓN DE SISTEMAS QUE UTILIZAN COMBUSTIBLES FÓSILES (GASÓLEO Y GAS NATURAL) POR BOMBA DE CALOR U OTRAS TECNOLOGÍAS DE BAJAS EMISIONES

El sector comercial e institucional debe liderar la transformación de la electrificación de la demanda en el parque edificado y, en lo que se refiere a las instalaciones municipales (edificios y complejos sanitarios, culturales y deportivos), cumplir el papel ejemplificador que se le exige a la administración.

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN

El concepto de iluminación inteligente (smart lighting) en los servicios de alumbrado público es una acción de alto impacto. Asimismo, la implicación del sector comercial en la implementación de sistemas eficientes de iluminación constituye también una prioridad, por lo que se establecerán canales de colaboración específicos para el sector servicios.

EFICIENCIA Y REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS MUNICIPALES

El ahorro y la eficiencia energética en instalaciones municipales es un objetivo ineludible que se abordará a través de herramientas de monitorización, renovación de equipos y líneas de inversión para la rehabilitación energética integral de edificios.

Otros sectores

Junto con la movilidad y la edificación como principales sectores emisores de fuentes difusas de GEI, la hoja de ruta identifica otras acciones de significativo impacto que deben ser abordadas a escala municipal:

GESTIÓN DE RESIDUOS

Se seguirá avanzando en la reducción de las emisiones de metano en el complejo tecnológico de Valdemingómez y se mejorará el aprovechamiento del biogás mediante su transformación en biometano inyectable en la red de gas natural o en electricidad. . .

La generación de biometano y electricidad de origen renovable, a partir de los residuos que producen los ciudadanos y que se tratan en el PTV, permite contribuir a la reducción del consumo de combustibles fósiles tanto en el sector de la automoción como el residencial, industrial o de servicios en general, por ello se seguirá avanzando en la mejora de los procesos de producción y transformación de estas fuentes renovables de energía y en la aplicación de las mejores técnicas disponibles en la reducción de emisiones a la atmósfera.

El Ayuntamiento avanzará en el autoconsumo de la electricidad y biometano generados a partir de residuos municipales en el Parque Tecnológico de Valdemingómez, de manera que estos podrán jugar un papel fundamental en la neutralidad de las emisiones de los servicios municipales, concretamente en servicios como la EMT, los vehículos de recogida de residuos o los propios edificios municipales.

REDUCCIÓN DEL IMPACTO DE GASES REFRIGERANTES

Muchos de los gases utilizados en refrigeración y climatización (fluorados) poseen un elevado potencial de calentamiento atmosférico y su uso se ha incrementado notablemente en los últimos años-. Madrid pretende incentivar tecnologías alternativas a los gases fluorados de efecto invernadero, que utilicen otros gases con menor potencial de calentamiento atmosférico, así como mejorar el mantenimiento y recuperación de estos gases en aquellos equipos existentes.

Procesos impulsores de implementación y escalado

Las palancas de transformación estructuran la hoja de ruta hacia la neutralidad climática pero no hay que olvidar que se hace necesaria una transformación sistémica, es decir, no sólo innovación tecnológica, sino también social, política, económica, financiera e institucional. Por ello, es fundamental crear nuevas herramientas habilitadoras que favorezcan la implementación y escalado. La ciudad de Madrid ha planteado para el desarrollo de su Hoja de Ruta las siguientes acciones dirigidas al impulso de procesos:

- **EQUIPO DE TRABAJO INTERDEPARTAMENTAL (Grupo Clima 360):** constituido por representantes de distintas áreas municipales (Medio Ambiente y Movilidad, Desarrollo Urbano, Economía, Innovación, Hacienda, Cultura, Internacional, etc.) que aportan las múltiples visiones que exige la Hoja de Ruta.
- **REVISIÓN NORMATIVA:** procesos de revisión de regulaciones, ordenanzas y planes municipales bajo la perspectiva de la neutralidad climática. Oportunidad de generar espacios de innovación regulatoria (“sandbox” regulatorios) que permitan experimentar modelos de descarbonización no contemplados o de difícil implementación con el marco normativo existente.
- **FINANCIACIÓN CLIMÁTICA:** puesta en marcha de esquemas de financiación que permitan desarrollar la Hoja de Ruta a partir del análisis económico. Integración de la variable climática en los presupuestos municipales.
- **PLATAFORMA DE COLABORACIÓN MULTIACTOR:** a partir de la experiencia de Madrid como ciudad demostradora del programa de Climate-KIC “Ciudades limpias y saludables”, consolidación de una plataforma que promueva la innovación sistémica, acelerando carteras de proyectos transformadores. En esta plataforma se integran el Ayuntamiento, la comunidad científica, el sector privado y la ciudadanía.

8

Resiliencia frente a los efectos del clima

Reducir las emisiones de GEI debe ser el objetivo prioritario de la Acción Climática. Sin embargo, las consecuencias del Calentamiento Global obligan a dar una respuesta a las amenazas e impactos que ya se están produciendo. La modificación del sistema climático global genera unos efectos en cadena que llegan a la escala local y que no se limitan a aspectos ambientales, sino que impactan social y económicamente.

Esta Hoja de Ruta pretende orientar la ciudad de Madrid hacia el cumplimiento del Acuerdo de París, reduciendo sus emisiones con el objetivo de alcanzar la neutralidad en 2050, pero también incorpora los otros objetivos planteados en su artículo 2. ‘Aumentar la

capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima'.

El Pacto Verde Europeo que manifiesta el compromiso político por transformar la UE en una sociedad equitativa y próspera, con una economía moderna, eficiente en el uso de los recursos y competitiva, también incorpora en sus metas proteger, mantener y mejorar el capital natural de la UE, así como proteger la salud y el bienestar de los ciudadanos frente a los riesgos y efectos medioambientales.

En el ámbito nacional, el proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética ofrece el marco institucional para el cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París y refuerza el papel de la adaptación en el desarrollo de esas políticas. De manera más específica, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) supone una referencia que permite orientar los planes y actuaciones locales.

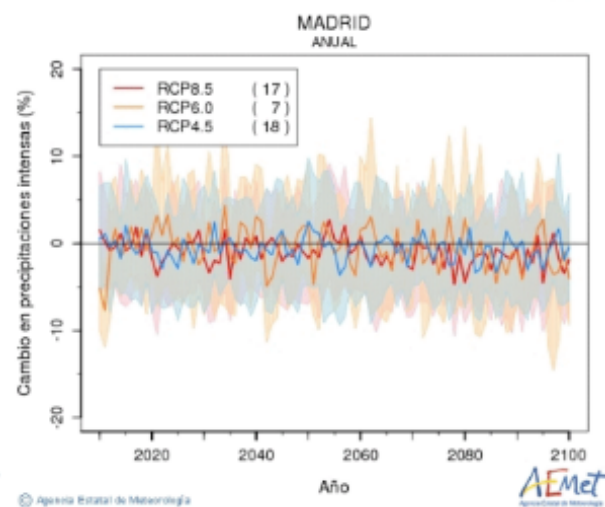
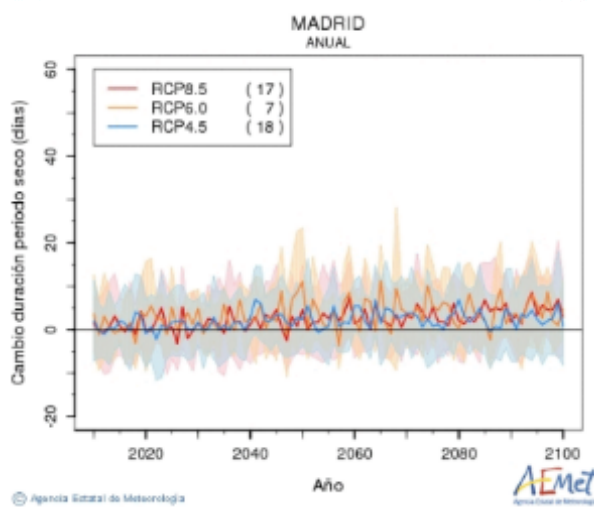
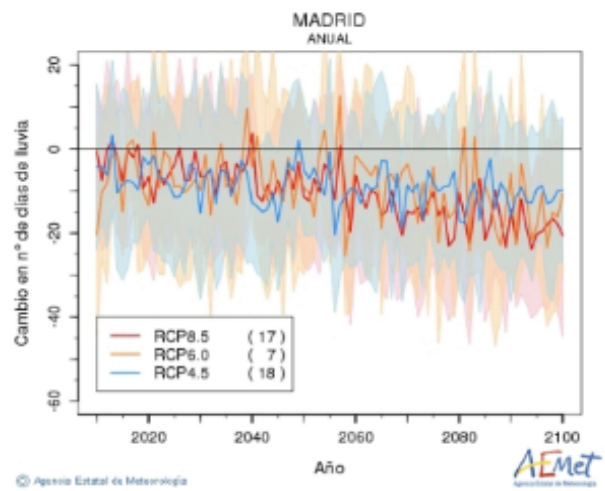
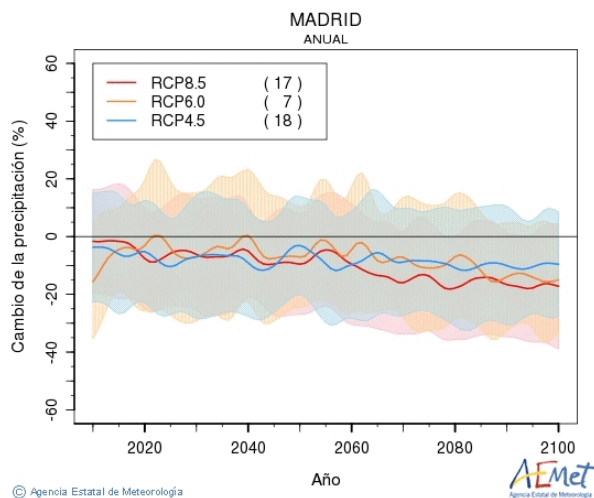
Debe destacarse la dimensión local que supone la Adaptación al Cambio Climático. Los impactos derivados de la alteración del clima se convierten en riesgos reales y cercanos que afectan a los sistemas urbanos, desde la provisión de recursos, la gestión del agua, la demanda energética o la degradación de los espacios naturales, pero sobre todo tienen efecto en los grupos sociales más vulnerables y en la actividad económica.

Escenarios climáticos y evaluación de riesgos

La evolución del clima en Madrid se infiere a partir de los escenarios climáticos regionalizados. A pesar de la influencia de la ciudad en determinadas variables, la base de su clima depende del regional. A partir de las proyecciones regionalizadas ofrecidas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y de la plataforma AdapteCCa (Plataforma sobre Adaptación de la Oficina Española de CC), se pueden conocer los escenarios futuros.

Respecto a las temperaturas, la tendencia que se observa es el incremento de las temperaturas máximas, el aumento de los días cálidos y de las noches tórridas o cálidas, aquellas que superan los 20° de mínima, y aumento de la duración de los episodios de ola de calor. La evolución de estas variables se hace más acusada en la trayectoria de concentración representativa (RCP 8.5) con incrementos superiores a 5°C en las temperaturas máximas a finales de este siglo o el incremento de los episodios de ola de calor.

Respecto a las precipitaciones, existe una tendencia decreciente en el volumen y en el número de días de lluvia. Por otra parte, los periodos secos muestran una evolución creciente.



Resultados gráficos de las proyecciones regionalizadas de cambio climático (temperatura). Fuente: AEMET.

Disponible en: http://www.aemet.es/en/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos

La alteración de las condiciones climáticas mostradas en los escenarios previstos está en el origen de una serie de cadenas de impactos. Según el estudio municipal: “Análisis de Vulnerabilidad ante el Cambio Climático”, la ciudad de Madrid estará afectada por las siguientes:

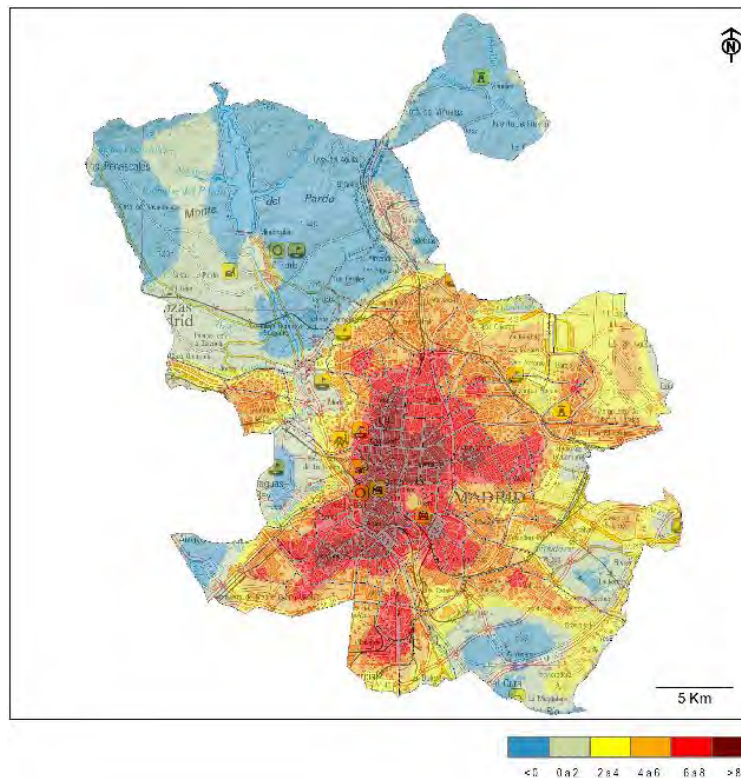
- Olas de calor: efectos directos sobre la salud, mortalidad y morbilidad, incremento de la demanda energética, aumento del consumo de agua, reducción de rendimientos de trabajo, efectos sobre turismo atracción de turismo, etc.
- Sequías: problemas de abastecimiento de agua potable, reducción de la calidad, impacto en economía, negocios y turismo, degradación de espacios naturales, etc.
- Inundaciones: impacto sobre infraestructuras, reducción de la calidad del agua, daños en edificios, incremento de incidencias en seguridad y emergencias, incidencias en movilidad.
- Degradación ambiental: alteración o modificación de ecosistemas y pérdida de biodiversidad.

Estas cadenas de impacto generan un efecto en cascada con efectos derivados en múltiples aspectos de la vida y actividad de la ciudad, desde la salud a la calidad del aire o la economía.

Este mismo análisis valora, a escala distrital, las áreas de Madrid más vulnerables a estos efectos, mostrando la coincidencia espacial de la vulnerabilidad climática con la social y económica.

Aunque el clima de la ciudad de Madrid se enmarca en el regional, al igual que otras grandes metrópolis, la morfología urbana, los materiales y la actividad urbana, provocan condiciones climáticas particulares a microescala y fenómenos como el Efecto de Isla de Calor Urbana.

El Estudio de Detalle del Clima Urbano de Madrid, realizado por el grupo de investigación del clima urbano de la Universidad Autónoma de Madrid por encargo del Ayuntamiento de Madrid, profundiza en el conocimiento del efecto de Isla de Calor Urbana, estrechamente relacionado con el impacto de las olas de calor. El estudio coincide en las tendencias de los escenarios climáticos regionales y elabora un plano de la huella de calor en la ciudad que permite ubicar los lugares más expuestos, “puntos calientes”.



Distribución de la isla de calor fisiológica en verano.

Detalle del Clima Urbano de Madrid. Abril 2016. Ayuntamiento de Madrid. Felipe Fernandez et al. UAM.

Objetivos de adaptación

El clima en Madrid está cambiando y, en base a las proyecciones ambientales, es de esperar que continúe evolucionando en la misma trayectoria durante las próximas décadas. Los cambios en las condiciones ambientales están generando riesgos sobre la salud pública, la economía y el equilibrio de los sistemas naturales y urbanos.

Para hacer frente a los impactos climáticos actuales y futuros Madrid debe adaptarse, transformándose en una ciudad más resiliente, sostenible y saludable. La adaptación es una transformación conjunta y transversal, que debe alinear políticas sectoriales y el esfuerzo coordinado de múltiples actores de todos los sectores de la sociedad.

El objetivo general y estratégico de la adaptación es hacer de Madrid una ciudad resiliente, sostenible y saludable. Los objetivos sectoriales se organizan en función de los impactos esperados.

MÁS CALOR. Temperaturas más altas, olas de calor más frecuentes e intensas

Se espera que las temperaturas mínimas y máximas continúen aumentando a lo largo del siglo. Las olas de calor serán más frecuentes, largas e intensas, agravando el efecto de la isla de calor urbano.

Objetivo estratégico: Refrescar la ciudad

Implementar iniciativas sostenibles, económica y medioambientalmente, que refresquen la ciudad y eviten su sobrecalentamiento durante los meses cálidos. Proteger del calor excesivo a las poblaciones más expuestas, más sensibles o con menor capacidad de respuesta. Incorporar infraestructuras verdes y azules en el tejido de la ciudad aprovechando la vegetación y el agua para mejorar el espacio público mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza.

Objetivos específicos

- Incrementar la superficie de áreas verdes y el dosel arbóreo (cobertura arbórea).
- Sustitución de superficies pavimentadas impermeables por permeables o naturales.
- Fomentar el uso de materiales constructivos de alto albedo.
- Desarrollo de la infraestructura verde urbana en relación con otros sistemas, edificación, movilidad, energía, etc.

MENOS AGUA, MÁS CONCENTRADA. Periodos de sequía más frecuentes y prolongados, precipitaciones anuales ligeramente menores, pero con una distribución irregular.

Las proyecciones climáticas apuntan a un descenso continuado de las precipitaciones anuales, periodos más largos sin lluvia y más días de lluvias intensas al año.

Objetivo estratégico: Reducir y reaprovechar

Maximizar la eficiencia en la gestión del agua en la ciudad. Aprovechar recursos hídricos alternativos reduciendo la demanda de agua potable. Minimizar pérdidas auditando, reparando, modificando y manteniendo las redes de abastecimiento, riego y saneamiento.

Objetivo estratégico: Asegurar el acceso

Continuar fomentando el consumo responsable y garantizar la calidad y el acceso con atención especial a los grupos más vulnerables.

Objetivos específicos

- Reducir la demanda de agua y fomentar el uso responsable.
- Extender la red de agua regenerada para el riego de parques.
- Reducir pérdidas por abastecimiento.
- Explorar nuevas fuentes de aprovechamiento y alternativas de reutilización.

MÁS EVENTOS EXTREMOS. Tormentas e inundaciones más frecuentes.

Los eventos climáticos extremos, tormentas, fuertes rachas de viento y lluvias torrenciales se producirán con mayor frecuencia. Aumentará el riesgo de inundación y daños a instalaciones e infraestructuras urbanas.

Objetivo estratégico: Proteger y asegurar

Implementar medidas para proteger a la ciudad frente a las inundaciones y episodios extremos, con especial atención a la población más vulnerable. Aumentar la capacidad de respuesta de Madrid. Incrementar la resiliencia de infraestructuras y servicios.

Objetivo estratégico: Transformar la gestión de lluvia en Madrid

Aumentar la retención y permeabilidad del agua en la ciudad mediante Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible y la implantación de Soluciones Basadas en la Naturaleza que permitan reducir los caudales pico de llegada a los sistemas de depuración para minimizar el vertido de aguas contaminadas a los cauces naturales. Aprovechar el agua para mejorar el microclima urbano, recargar los acuíferos, promover la biodiversidad urbana y favorecer el bienestar de la ciudadanía.

Objetivos específicos

- Extender el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.
- Incrementar la retención e infiltración del agua de lluvia.
- Explorar la ampliación de usos de aguas grises.

DISMINUCIÓN BIODIVERSIDAD, NUEVOS RETOS. Degradación de los espacios naturales, alteración de los ecosistemas

El cambio acelerado de las condiciones climáticas pondrá en peligro el equilibrio de los ecosistemas existentes en la ciudad. Ligado al clima más cálido, podrían aparecer nuevos vectores de transmisión de enfermedades aumentando el riesgo para la salud pública o la flora y la fauna de la ciudad.

Objetivo estratégico: Promover la inclusión de la naturaleza en la ciudad

Proteger e incrementar la biodiversidad en la ciudad de forma sostenible mediante planteamientos estratégicos encaminados a la resiliencia y la adaptación. Promover infraestructuras verdes que faciliten el funcionamiento de servicios ecosistémicos, mejoren la conectividad, la calidad del aire, la eficiencia energética o las condiciones micro climáticas, entre otros co-beneficios.

Objetivo estratégico: Conocer y controlar

Adaptar los protocolos y mecanismos municipales para anticipar, detectar y controlar la aparición de nuevos vectores de transmisión de enfermedades. Estudiar y gestionar la aparición de nuevas plagas y riesgos para la vegetación y los animales de Madrid.

Objetivos específicos

- Incrementar la conectividad de zonas verdes urbanas y periurbanas.
- Incrementar la diversidad de especies vegetales en la ciudad.
- Generar condiciones atractivas y adecuadas para la fauna.
- Ensayar y extender el diseño de zonas verdes con criterios de hábitats naturales.

Al igual que en el desarrollo de las acciones de mitigación, la adaptación requiere una respuesta transversal y coordinada, obligada por la multiplicidad de factores que intervienen y de los efectos que derivan de la alteración climática. En este sentido, el equipo de trabajo interdepartamental creado en el marco de la iniciativa Deep Demo de Climate-KIC EIT, permitirá abordar de manera integral algunos proyectos emblemáticos de la ciudad relacionados con el desarrollo de infraestructuras verdes y biodiversidad, a la vez que ejercerá una acción como plataforma para fomentar las necesarias alianzas estables con actores del sector privado, académico y ciudadano.

9

Seguimiento y comunicación

Los avances de la ciudad de Madrid en su camino hacia la neutralidad podrán observarse anualmente a través de los resultados que se obtienen a partir del Inventario de Emisiones de GEI. Esta herramienta, que se lleva utilizando desde 2006, permite conocer año a año el volumen de emisiones de alcance 1 y 2 (directas e indirectas) que genera la ciudad, evolución histórica y tendencias. El inventario ofrece datos de emisiones totales y desagregados por sectores de actividad.

La información base del inventario se obtiene a partir de encuestas directas dirigidas a las principales fuentes de emisión, a la que se añade información procedente de la administración regional y estatal, así como estudios específicos, como el Parque Circulante de la Ciudad de Madrid, el Modelo de Tráfico o el Balance Energético, entre otros.

Además de este seguimiento anual, la evolución de esta Hoja de Ruta será evaluada a través de un informe que se realizará cada 5 años a partir del año 2020, en el que se expondrá el registro de emisiones, un análisis de cumplimiento de hipótesis y escenarios, el grado de implantación de medidas y el pronóstico de evolución en los siguientes años.

El seguimiento del cumplimiento de objetivos y de ejecución de las acciones de adaptación previstas se realizará también cada 5 años, coincidiendo con la evaluación del proceso de descarbonización.

En el plazo de 1-2 años se desarrollará un sistema de indicadores de resiliencia para evaluar y poder medir las acciones en adaptación de manera cualitativa y cuantitativa, partiendo de sistemas ya desarrollados, pero haciendo una adaptación a las circunstancias específicas de Madrid. Con el fin de orientar políticas, se integrarán sistemas de evaluación

e indicadores que ya se están aplicando en la ciudad de Madrid, como los planteados en la [Estrategia de localización de ODS para la ciudad de Madrid](#).

La Hoja de Ruta, los datos de inventario y los informes de evaluación periódicos serán **publicados en la web municipal y en publicaciones específicas, de manera que la información será transparente y accesible para cualquier interesado.**

Estrategia de comunicación

La Hoja de Ruta es una guía para todas aquellas personas o entidades implicadas en la mitigación y adaptación de la ciudad. En este sentido, su divulgación se considera parte del proceso de implantación y desarrollo. La estrategia de comunicación adaptará sus contenidos en función de los destinatarios, canal de comunicación y objetivo de cada acción informativa.

Resulta relevante la difusión en el ámbito interno del Ayuntamiento de Madrid, con el fin de alinear las políticas de las diferentes áreas municipales, pero es especialmente necesaria la complicidad del sector privado, de la sociedad organizada y en general de la ciudadanía. A todos ellos deberá llegar este mensaje y ambición de la forma adecuada a su posición y capacidad de acción.

10 Amenazas, barreras

La crisis climática se define por su complejidad e interrelación entre múltiples factores de ámbitos aparentemente distantes. Por esta circunstancia, amenazas y barreras pueden originarse y aparecer de igual modo desde diversos lugares.

Respecto al cumplimiento de los objetivos de la Hoja de Ruta, la incertidumbre está en los ritmos y tiempos necesarios para alcanzar los objetivos.

Técnicamente, el grado de desarrollo alcanzado parece permitir acceder a escenarios de ciudades neutras en los horizontes temporales que plantea esta Hoja de Ruta y, aunque existen incertidumbres en algunos aspectos (evolución en el desarrollo de baterías, adaptación de redes de distribución, desarrollo de la tecnología del hidrógeno, técnicas de clasificación y tratamiento de residuos, así como los costes para su implantación, desarrollo de los mercados de materiales recuperados, etc.) no parecen que comprometan el fin.

En este ámbito, el éxito para alcanzar la neutralidad depende en un alto grado de la **descarbonización del mix eléctrico**, que de no cumplir con los ritmos e hitos establecidos ralentizaría todo el proceso.

La adecuación de infraestructuras, la transformación del parque circulante de la ciudad, la mejora de la eficiencia energética de edificios, la extensión de sistemas de climatización basados en energías limpias o la mejora de los procesos de recolección y tratamiento de

residuos, deben incorporar mejoras técnicas y requieren plazos de desarrollo amplios que podrían alterar el ritmo esperado.

Sin embargo, las mayores amenazas y barreras serán aquellas relacionadas con aspectos sociales y económicos. El objetivo de una ciudad neutra en carbono no podrá alcanzarse si no hay una **colaboración público – privada – social** en todos los aspectos del proceso. Este desarrollo urbano solo puede entenderse en una sociedad inclusiva en un contexto económico favorable y sostenible.

Los modelos de **gobernanza** son también un aspecto clave, la acción climática propone transformaciones integrales que, en ocasiones, son difíciles de desarrollar en esquemas administrativos y de organización excesivamente rígidos y compartimentados, y de normativa en cuyo diseño no se ha incorporado la variable climática.

También puede suponer una amenaza la **desconexión entre escalas**. La acción climática en la ciudad debe estar en relación con el contexto metropolitano, regional y estatal. Numerosas actividades y sistemas urbanos (movilidad, alimentación, energía, agua, etc.) están intensamente influenciados por estos otros ámbitos. De manera análoga, el proceso puede extraviarse o ralentizarse si no se produce un **alineamiento de las políticas** de las diferentes administraciones, local, regional, nacional y europea.

La **armonización entre políticas** será necesaria no solo en términos estratégicos y legales. La transformación urbana que se debe afrontar requerirá de políticas y estrategias financieras y presupuestarias que deberán ser ágiles y eficientes, para lo que la **coordinación institucional** resulta crucial.

La puesta en práctica de acciones va a requerir inversiones elevadas, en algunos casos con retornos económicos directos y en un plazo asumible por inversores, pero en muchos otros ese retorno se producirá en el largo plazo, tal y como se aprecia en el análisis económico, e incluso será inexistente en términos meramente económicos, caso de muchas acciones de resiliencia urbana. Un **contexto económico favorable favorecerá, por tanto, la implantación de medidas, de lo contrario** podría frenar el avance.

El proceso hacia la neutralidad climática requiere una profunda transformación urbana, desde lo social, económico y ambiental. El reto está en vencer las inercias y posiciones inmovilistas que frenan esta evolución hasta alcanzar nuevos paradigmas e inercias que conduzcan de manera natural a una ciudad climáticamente neutra, económicamente próspera y socialmente inclusiva.

11 Anexos

I.- Estudio “Desarrollar la Hoja de Ruta de la ciudad de Madrid hacia la neutralidad climática”

Monitor Deloitte. Noviembre 2020

II.- The total economic case for decarbonisation in Madrid.

Material economics. Noviembre 2020

III.- Medidas de adaptación Madrid + Natural

Imagen portada:

Título: De Madrid al cielo (o hacia las cuatro torres)

Autor: Juan Carlos Rodán González

V Concurso de fotografía municipal.