

ESTUDIO SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS POLÍTICAS MUNICIPALES DEL AYUNTAMIENTO DE MADRID EN EL PERIODO 2003-2015

Expediente 145/2016/04433

Subdirección General de Auditoría de la Deuda y las Políticas Públicas

Área de Gobierno de Economía y Hacienda



INFORME ELABORADO POR LOS MIEMBROS DE EDUCANDO, S. COOP. MAD. Y TRANSITANDO:

David Alba Hidalgo
Marta Suárez Casado
Juan Carlos Barrios Montenegro
Jorge Cerezal Pérez

30/11/2016

Índice

1. Introducción	7
1.1. Justificación	7
1.2. Objetivos del estudio	7
1.3. Terminología y definiciones	7
1.4. Estructura y metodología del estudio	8
2. La evaluación de los servicios de los ecosistemas como enfoque para la evaluación del impacto ambiental de las políticas públicas.	11
2.1. La ciudad como ecosistema	11
2.2. Impulsores de cambio	12
2.3. Servicios de los ecosistemas	12
2.3.1. Servicios de abastecimiento.....	13
2.3.2. Servicios de regulación.....	14
2.3.3. Servicios culturales.....	14
2.4. El marco conceptual de la evaluación de los servicios de los ecosistemas.....	15
3. La ciudad de Madrid como ecosistema: estructura y funcionamiento.....	17
3.1. Escala espacial de trabajo	17
3.2. Estructura del ecosistema urbano de Madrid.....	17
3.3. Funcionamiento del ecosistema urbano de Madrid	26
3.3.1. Cambios de usos del suelo	26
3.3.2. Cambio climático.....	27
3.3.3. Contaminación	37
3.3.4. Especies introducidas o eliminadas.....	53
3.3.5. Consumo de recursos.....	54
4. Las políticas municipales del Ayuntamiento de Madrid como impulsores de cambio. Periodo 2003-2015.	60
4.1. La planificación estratégica municipal: Mapa Estratégico, Programas Operativos de Gobierno (POG) y Presupuesto General.	61
4.2. Las áreas de acción.....	64
4.2.1. Espacios públicos.....	64
4.2.2. Medio ambiente	66
4.2.3. Movilidad y transporte.....	74
4.2.4. Urbanismo	76
4.2.5. Otras áreas.	78
4.3. Actuaciones municipales más significativas.....	79

5. La influencia de las políticas municipales en los servicios de los ecosistemas de la ciudad de Madrid.....	81
5.1. Cambios de usos del suelo	81
5.2. Cambio climático.....	82
5.3. Contaminación.	84
5.4. Especies introducidas y eliminadas.....	85
5.5. Consumo de recursos.....	86
6. Propuesta metodológica para la evaluación del impacto ambiental de las políticas municipales del Ayuntamiento de Madrid por medio de la evaluación de los servicios de los ecosistemas.....	87
6.1. Metodología de evaluación.....	87
6.2. Indicadores	87
6.2.1. Servicios de abastecimiento.....	87
6.2.2. Servicios de regulación.....	89
6.2.3. Servicios culturales.....	93
7. Aplicación de la evaluación de los servicios de los ecosistemas a una actuación municipal significativa: el soterramiento de la M-30.	95
7.1. Servicios de abastecimiento.....	95
7.2. Servicios de regulación.....	97
7.3. Servicios culturales.....	99
8. Conclusiones y propuestas para la aplicación de la propuesta metodológica para la evaluación del impacto ambiental de las políticas municipales del Ayuntamiento de Madrid.	101
9. Recursos de información.....	110

Índice de tablas

Tabla 1. Servicios de abastecimiento.	13
Tabla 2. Servicios de regulación.	14
Tabla 3. Servicios culturales.	15
Tabla 4. Unidades suministradoras de servicios y ejemplos de servicios que proveen.....	19
Tabla 5. Comparativa de la clasificación del suelo del municipio de Madrid del Plan General de Ordenación Urbana de 1997 y de la Revisión del Plan General (m ²).	27
Tabla 6. Distribución por sectores de las emisiones directas e indirectas de GEI en Madrid para el año 2014.	37
Tabla 7. Emisiones totales del municipio de Madrid por contaminante.	43
Tabla 8. Emisiones de NO _x por sector (t).....	45
Tabla 9. Superaciones de valores límite de NO ₂ en el municipio de Madrid en 2015.	46
Tabla 10. Emisiones de SO ₂ por sector (t).	47
Tabla 11. Superaciones de valores límite legales y valores recomendados por la OMS para el O ₃ en 2015.....	48
Tabla 12. Emisiones de PM _{2,5} por sector (t).	49
Tabla 13. Emisiones de PM ₁₀ por sector (t).....	50
Tabla 14: Superaciones de los valores recomendados por la OMS para PM ₁₀ y PM _{2,5} en 2015.	51
Tabla 15. Variación de la población expuesta a niveles de ruido por encima de los Objetivos de Calidad Acústica del Real Decreto 1367/2007.	52
Tabla 16. Consumo de energía final en el municipio de Madrid. Distribución por fuente energética. Periodo 2006-2014.....	56
Tabla 17. Evolución del presupuesto no financiero consolidado ejecutado en el área de acción de Espacios Públicos.....	65
Tabla 18. Actuaciones significativas del área de acción de Espacios Públicos y su afección a los impulsores directos de cambio.	65
Tabla 19. Evolución del presupuesto no financiero consolidado ejecutado en el área de acción de Medio Ambiente.	66
Tabla 20. Actuaciones significativas del área de acción de Medio Ambiente (2007-2011) y su afección a los impulsores directos de cambio.	68
Tabla 21. Actuaciones significativas del área de acción de Medio Ambiente (2011-2015) y su afección a los impulsores directos de cambio.	69
Tabla 22. Evolución del presupuesto no financiero consolidado ejecutado en el área de acción de Movilidad y Transporte.	75
Tabla 23. Actuaciones significativas del área de acción de Movilidad y Transporte (2007-2011) y su afección a los impulsores directos de cambio.....	75
Tabla 24. Actuaciones significativas del área de acción de Movilidad y Transporte (2011-2015) y su afección a los impulsores directos de cambio.....	76

Tabla 25. Evolución del presupuesto no financiero consolidado ejecutado en el área de acción de Urbanismo.....	77
Tabla 26. Actuaciones significativas del área de acción de Urbanismo (2007-2011) y su afección a los impulsores directos de cambio.....	78
Tabla 27. Actuaciones significativas del área de acción de Urbanismo (2011-2015) y su afección a los impulsores directos de cambio.....	78
Tabla 28. Actuaciones significativas de otras áreas y su afección a los impulsores directos de cambio.....	79
Tabla 29. Indicadores de los servicios de abastecimiento. Se muestran tanto indicadores de provisión (p) como indicadores de demanda (d).	88
Tabla 30. Indicadores de los servicios de regulación. Se muestran tanto indicadores de provisión (p) como indicadores de demanda (d).	89
Tabla 31. Indicadores de los servicios de regulación. Se muestran tanto indicadores de provisión (p) como indicadores de demanda (d).	93
Tabla 32: Indicadores de los servicios de abastecimiento a evaluar para el soterramiento de la M-30.	95
Tabla 33. Indicadores de los servicios de regulación a evaluar para el soterramiento de la M-30.	97
Tabla 34: Indicadores de los servicios culturales a evaluar para el soterramiento de la M-30..	99

Índice de figuras

Figura 1. Metodología y estructura del estudio.....	9
Figura 2. Marco conceptual para la evaluación de los servicios de los ecosistemas.....	15
Figura 3. Mapa de clasificación y categorización del suelo del municipio de Madrid.....	18
Figura 4. Red hidrográfica del municipio de Madrid.....	21
Figura 5. Embalses y humedales protegidos en el municipio de Madrid.....	22
Figura 6. Espacios naturales protegidos en el municipio de Madrid.....	23
Figura 7. LICs en el municipio de Madrid.....	23
Figura 8. ZEPAs en el municipio de Madrid.....	24
Figura 9. Vías pecuarias en el municipio de Madrid.....	25
Figura 10. Corredores ecológicos en el municipio de Madrid.....	26
Figura 11. Proyecciones climáticas para la Comunidad de Madrid.....	28
Figura 12. Total de días con temperaturas máximas en Barajas superiores o iguales a 36,5°C y 38°C, durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre (1961-2010).....	29
Figura 13. Frecuencia de las noches cálidas en el observatorio urbano del Retiro (Ret) y en el de Barajas (bar) desde 1961 al 2010.....	30
Figura 14. Diferencia de las temperaturas superficiales de cada uso en relación a la media general del municipio de Madrid a diferentes horas del día (12 AM, 12 PM y 6 AM).....	30
Figura 15. Índice de impacto de la isla de calor fisiológica en un día típico del verano en Madrid.....	31
Figura 17. Evolución de las emisiones directas de GEI por tipo de gas.....	33
Figura 18. Evolución de la contribución sectorial al total de emisiones directas de CO ₂ equivalente.....	34
Figura 19. Evolución de las emisiones indirectas, energía eléctrica facturada al municipio y factor de emisión eléctrico.....	35
Figura 20. Evolución de la contribución sectorial al total de emisiones indirectas.....	36
Figura 21. Evolución de las emisiones directas e indirectas de GEI en el municipio de Madrid.....	36
Figura 22. Caudales tratados anuales en las estaciones depuradoras del municipio de Madrid.....	38
Figura 23. Evolución de la producción total de residuos urbanos de la ciudad de Madrid.....	38
Figura 24. Evolución de la producción de residuos urbanos generados directamente por la ciudadanía.....	39
Figura 25. Evolución de la producción de residuos urbanos asociados a la actividad económica de la ciudad.....	39
Figura 26. Evolución de la producción de residuos de la recogida selectiva de envases y restos.....	40
Figura 27. Evolución de la producción de residuos de la recogida selectiva papel-cartón y vidrio.....	41

Figura 28. Evolución de los materiales reciclables recuperados en plantas y recogida selectiva de aportación durante el periodo 2004-2015.....	41
Figura 29. Mapa de ruido del municipio de Madrid. Nivel continuo equivalente diurno.....	52
Figura 30. Evolución del número de personas expuestas a niveles de ruido superiores a los objetivos de calidad acústica.	53
Figura 31. Núcleos de nidificación de cotorra argentina en Madrid en 2015. Se representan puntos por colonia de nidificación o nidos o ejemplares aislados.	54
Figura 32. Facturación de agua por usos en el municipio de Madrid.	55
Figura 33. Evolución del consumo de alimentos perecederos en el municipio de Madrid.	56
Figura 34. Evolución de la distribución porcentual de consumo de energía final por sectores en el municipio de Madrid. Periodo 2006-2014.	57
Figura 35. Evolución y composición del consumo de materiales de la Comunidad de Madrid..	58
Figura 36. Evolución y composición de la extracción interna de materiales.	58
Figura 37. Evolución y composición del consumo de materiales interno.....	59
Figura 38. Evolución composición de las importaciones y exportaciones.....	59
Figura 39. Mapa estratégico 2003-2007.	61
Figura 40. Mapa estratégico 2007-2011.	62
Figura 41. Mapa estratégico 2011-2015.	62

1. Introducción

1.1. Justificación

Este informe es el resultado del estudio sobre el impacto ambiental de las políticas municipales de Madrid en el periodo 2003-2016 que la Subdirección General de Auditoría de la Deuda y las Políticas Públicas del Área de Gobierno de Economía y Hacienda del Ayuntamiento de Madrid encarga al equipo de Educando, S. Coop. Mad. Este estudio forma parte de una auditoría del impacto económico, social, de género y ambiental de las políticas públicas del Ayuntamiento que está llevando a cabo dicha Subdirección, siendo la parte ambiental la que nos corresponde.

Las políticas municipales inciden sobre la estructura y funcionamiento del municipio de Madrid, afectando al medio ambiente urbano y, por ende, a la calidad de vida de sus habitantes. Por ello, es necesario comprender cómo funciona la ciudad y cómo las políticas municipales han afectado a su funcionamiento y estado ecológico, ya que de ello depende el bienestar de sus habitantes. Este es, por tanto, el propósito de este informe, en el que hemos utilizado la metodología de evaluación de los servicios de los ecosistemas para analizar cómo las políticas municipales del periodo 2003-2016 han afectado al funcionamiento de la ciudad y el bienestar de su ciudadanía.

En este capítulo, y a modo introductorio, señalamos cuáles son los objetivos de este estudio (sección 1.2.), definimos una serie de conceptos clave que hemos utilizado a lo largo del informe (sección 1.3.) y describimos la estructura del informe y la metodología empleada (sección 1.4.).

1.2. Objetivos del estudio

La Subdirección General de Auditoría de la Deuda y las Políticas Públicas del Área de Gobierno de Economía y Hacienda del Ayuntamiento de Madrid encarga este estudio con los siguientes objetivos:

1. Identificar los principales problemas medioambientales de la ciudad de Madrid.
2. Identificar las principales políticas municipales con posibles impactos medioambientales relevantes, seleccionando actuaciones municipales significativas dentro de cada una.
3. Identificar y describir las fuentes informativas fundamentales para la recopilación de evidencias que fundamenten el estudio de impactos medioambientales.
4. Desarrollar la definición metodológica del análisis de impacto medioambiental.
5. Avanzar una evaluación preliminar del impacto medioambiental de las políticas municipales identificadas, desarrollando el estudio a través de las principales actuaciones municipales significativas de cada una de las políticas.

1.3. Terminología y definiciones

A lo largo del informe utilizamos una serie de términos cuya definición es necesaria para comprender el marco conceptual, la metodología utilizada y la evaluación del impacto ambiental de las políticas públicas reflejados en este informe. Definimos a continuación estos términos:

Ecosistema: unidad funcional constituida por componentes vivos y no vivos, ligados por una trama de relaciones biofísicas que intercambia materia y energía y se autoorganiza en el tiempo.

Ecosistema urbano: ecosistema en el que las personas viven en grandes densidades y donde las infraestructuras construidas ocupan gran parte de la superficie.

Bienestar humano: estado en el que se cubren las necesidades materiales básicas para una buena vida considerando cinco componentes; libertad y capacidad de elección y acción, salud, seguridad, buenas relaciones sociales y paz de mente y espíritu.

Funciones de los ecosistemas: es la capacidad de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas de generar servicios que contribuyan al bienestar humano.

Servicios de los ecosistemas: son las contribuciones directas e indirectas de los ecosistemas al bienestar humano.

Impulsores de cambio: factores de origen natural y humano que directa o indirectamente generan cambios en los ecosistemas y por tanto en el flujo de servicios.

Unidad suministradora de servicios: unidad física mínima y distinguible que es capaz de proveer un servicio ecosistémico.

Infraestructuras verdes: sistema o red de espacios abiertos, naturales o construidos, que proveen directa o indirectamente múltiples beneficios a la sociedad, y sostienen y mejoran las funciones ecológicas de los ecosistemas.

1.4. Estructura y metodología del estudio

El equipo de investigación encargado de este estudio propuso afrontar el estudio del impacto ambiental de las políticas municipales desde el marco de la ecología urbana y la evaluación de los servicios de los ecosistemas, entendiendo el impacto ambiental de las políticas municipales como la afección producida a la capacidad del ecosistema urbano de la ciudad de Madrid de proveer los servicios ecosistémicos necesarios para el bienestar de la ciudadanía, lo que conlleva la necesidad de provisión de los mismos por parte de otros ecosistemas.

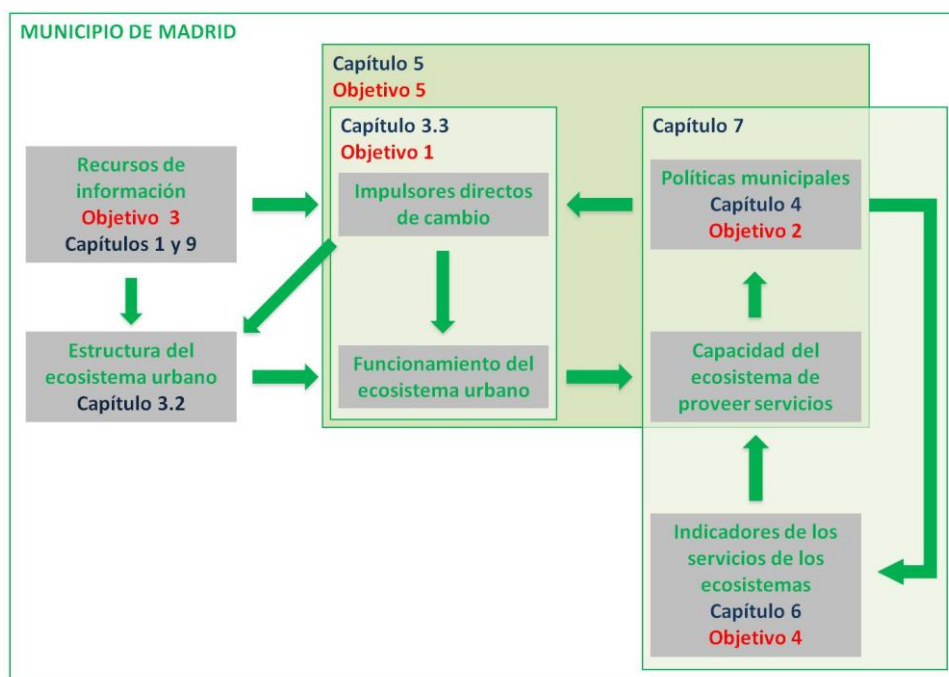
Este enfoque de evaluación, que adoptó por primera vez la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment, 2003), ha supuesto un cambio de perspectiva importante en el mundo de la conservación de la naturaleza ya que, sin abandonar sus valores intrínsecos (el valor de la naturaleza por sí misma como el derecho a existir de las especies), esta propuesta promueve también los valores instrumentales (valor recreativo, educativo, científico o un valor de uso como alimento, agua potable, etc.) vinculando la conservación de los ecosistemas con las diferentes dimensiones del bienestar humano (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España, 2011).

Basándose en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio se han realizado evaluaciones nacionales en diferentes países, como por ejemplo en España (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España, 2011) y el Reino Unido (UK National Ecosystem Assessment, 2011), y a nivel regional, como la Evaluación de los Servicios de los Ecosistemas en Bizkaia (Onaindia et al., 2015). En el ámbito urbano la Comisión Europea y su proyecto *Mapping and assessment of ecosystems and their services in EU (MAES)* ha investigado cómo evaluar los servicios de los ecosistemas urbanos y ha propuesto una metodología y una batería de indicadores para evaluar dichos servicios (Maes et al, 2016). El marco conceptual y la propuesta metodológica

de este estudio se han elaborado tomando como referencias estos y otros trabajos realizados sobre servicios ecosistémicos, aplicándolos a la realidad local de la ciudad de Madrid.

Para evaluar el impacto en los servicios de los ecosistemas de las políticas municipales del Ayuntamiento de Madrid hemos utilizado la metodología propuesta por MAES (Erhard et al., 2016) adaptándola a los objetivos y el ámbito de estudio de este informe. Este marco metodológico se basa en el modelo **fuerza motriz, presión, impacto, estado, respuesta**. Diferentes *fuerzas motrices* como la demografía, la economía o la política ejercen una *presión* en el *estado* de los ecosistemas, provocando un *impacto* en el funcionamiento de los mismos. Si estos impactos son indeseados las políticas públicas deberán *responder* de forma adecuada para minimizar los efectos negativos del impacto y garantizar el correcto funcionamiento del ecosistema. Siguiendo el marco conceptual de los servicios de los ecosistemas que explicamos en el capítulo 2, los *impulsores indirectos de cambio* son las fuerzas motrices que influyen en los *impulsores directos de cambio* (las presiones) sobre la *estructura* y *funcionamiento* del ecosistema urbano, afectando a la provisión de *servicios ecosistémicos* necesarios para el bienestar humano y siendo las *políticas públicas* las que den respuesta a las necesidades del ecosistema para garantizar la provisión de dichos servicios. En la Figura 1 se muestra de forma esquemática el procedimiento metodológico y su correspondencia con los capítulos de este informe, así como con los objetivos señalados anteriormente.

Figura 1. Metodología y estructura del estudio.



Fuente: Elaboración propia a partir de Erhard et al., 2016.

La capacidad de la ciudad para proveer servicios es el resultado de su funcionamiento, que a su vez depende de su estructura. En la **sección 3.2.** del capítulo 3 describimos la estructura del ecosistema urbano de Madrid identificando las unidades suministradoras de servicios. Tanto la estructura como el funcionamiento del ecosistema se ven afectados por presiones internas y externas a las que denominamos impulsores de cambio. Las políticas municipales son un impulsor indirecto de cambio que influye en diversos impulsores directos como los cambios de usos del suelo, el cambio climático, la contaminación, las especies introducidas o eliminadas o el consumo de recursos. Estos impulsores directos influyen tanto en la estructura del

ecosistema como directamente en el funcionamiento del mismo. La relación entre los impulsores de cambio y la provisión de servicios ecosistémicos la explicamos en el **capítulo 2**. En la **sección 3.3** del capítulo 3 analizamos cómo han evolucionado estos impulsores directos de cambio en el periodo de estudio 2003-2015 en el municipio de Madrid y cómo ha afectado al funcionamiento del ecosistema urbano.

En el **capítulo 4** identificamos y describimos brevemente cuáles son las políticas públicas del Ayuntamiento de Madrid que han podido afectar de forma relevante a los servicios ecosistémicos de la ciudad. En el capítulo 5, analizamos cualitativamente cuál ha sido la afección de estas políticas sobre los impulsores directos de cambio y los servicios del ecosistema urbano, obteniendo una primera aproximación al estado de la capacidad de Madrid para proveer servicios ecosistémicos, pero también de su dependencia de otros ecosistemas para subsistir.

Complementamos la evaluación cualitativa con una propuesta de análisis de carácter cuantitativo para el estudio en detalle de cada una de las políticas. Para ello, en el **capítulo 6** definimos un listado de indicadores para evaluar el impacto de las políticas en el suministro y demanda de cada uno de los servicios ecosistémicos y describimos cómo aplicar esta metodología a una actuación concreta municipal tomando como ejemplo el soterramiento de la M-30 en el **capítulo 7**.

El **capítulo 8** incluye las conclusiones del estudio y las recomendaciones y propuestas para facilitar una evaluación del impacto ambiental mediante el estudio de la provisión de los servicios de los ecosistemas necesarios para el bienestar de los ciudadanos y ciudadanas de Madrid.

Finalmente, en el **capítulo 9** enumeramos las fuentes de información consultadas para la elaboración de este estudio, en los que se incluyen tanto artículos científicos como informes y memorias del Ayuntamiento o de otras instituciones o entidades, como la Comunidad de Madrid, el Canal de Isabel II o Ecologistas en Acción. Aunque se ha trabajado principalmente con información de acceso público en la web municipal, se han realizado entrevistas con distintos departamentos municipales, aportando valiosa información y que se enumeran a continuación:

- Subdirección General de Energía y Cambio Climático.
- Subdirección General de Zonas Verdes y Arbolado Urbano.
- Subdirección General de Parques y Viveros.
- Departamento de Control Acústico.
- Servicio de Obras Hidráulicas.
- Departamento de Información Geográfica. Área de Gobierno de Desarrollo Urbano Sostenible.
- Dirección-conservación de Madrid Río.
- Gerencia Madrid Calle-30.

2. La evaluación de los servicios de los ecosistemas como enfoque para la evaluación del impacto ambiental de las políticas públicas.

Para la elaboración de este informe hemos utilizado el marco conceptual y metodológico de los servicios de los ecosistemas. Diferentes organismos han llevado a cabo evaluaciones a nivel global (Millennium Ecosystem Assessment, 2003), nacional (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España, 2011), regional (Onaindia et al., 2015) y local (Maes et al., 2016) en las que nos hemos basado para definir el marco conceptual que explicamos en este capítulo y la propuesta metodológica para evaluar el impacto ambiental de las políticas municipales del Ayuntamiento de Madrid.

A continuación explicamos los tres conceptos clave en los que se basa este tipo de evaluación: la concepción de la ciudad como un ecosistema, los impulsores de cambio y los servicios de los ecosistemas.

2.1. La ciudad como ecosistema

La Agencia Europea de Medio Ambiente (2010) define las ciudades como ecosistemas abiertos y dinámicos que consumen, transforman y dispersan materiales y energía; se desarrollan, adaptan e interactúan con otros ecosistemas. Son altamente artificiales y dominados por una especie, la humana, pero sólo pueden sobrevivir y generar calidad de vida usando servicios básicos generados por la naturaleza y la biodiversidad de otros ecosistemas. Tales servicios, originados dentro y fuera del área urbana incluyen, entre otros, la regulación del ciclo del agua y el clima, la purificación del aire, el agua y el suelo y la producción de alimentos y otros bienes.

Los ecosistemas urbanos, por tanto, son sistemas artificiales sostenidos por las constantes relaciones con los sistemas naturales. El capital natural y el capital construido forman la base estructural de la ciudad sobre la que se generan una serie de flujos de materia y energía que caracterizan su funcionamiento. La ciudad, entendida como ecosistema, tiene una serie de características socio-ecológicas que explican su funcionamiento ambiental y que derivan de su organización social. Los sistemas urbanos son:

- **abiertos:** intercambian energía, materia e información con el exterior, con otros sistemas urbanos y, sobre todo, con sistemas naturales;
- **heterótrofos:** la producción autóctona de energía y recursos no alcanza para satisfacer una mínima parte de sus necesidades metabólicas, por lo que las extraen de otros sistemas;
- **dependientes** del resto de sistemas: de los que requieren energía, materiales e información con los que construir su estructura y mantener su funcionamiento;
- **incompletos:** pues una ciudad sólo puede ser considerada un ecosistema completo si se consideran completamente incluidos en él los ambientes de entrada y salida de materia, energía e información;
- con una **alta productividad cultural:** se caracterizan por ser núcleos donde se concentra una alta producción económica, política, científica, industrial, etc.

Todo ecosistema se basa en la existencia de un capital natural y en una serie de funciones que aseguran su integridad ecológica, permitiéndole así adaptarse a los cambios y perturbaciones

(resiliencia) y generar un flujo de servicios que es aprovechado por los seres humanos (servicios de los ecosistemas). Según el estado en el que se encuentre el ecosistema, su capital natural y las funciones que lo caracterizan, así será su resiliencia y su capacidad de proveer servicios.

En el caso de las ciudades, en la mayor parte de los casos, el capital natural se ha dilapidado y, por ello, han perdido gran parte de su funcionalidad y la capacidad de proveer todos los servicios que sus habitantes demandan para su bienestar, dependiendo de otros ecosistemas para que les suministren estos servicios. Por tanto, una ciudad no puede ser sostenible o resiliente si tenemos únicamente en cuenta el área construida. Para incrementar su sostenibilidad y resiliencia tendrá que tener en cuenta su capital natural. Y sólo podrá serlo en relación a su territorio circundante con el que intercambia materia, energía e información, es decir, servicios.

2.2. Impulsores de cambio

El estado y funcionamiento de los ecosistemas y, por ende, su capacidad para proveer servicios, se ven afectados por una serie de factores que denominamos impulsores de cambio. Dependiendo de cómo afecten al ecosistema podemos diferenciar entre impulsores indirectos e impulsores directos. Los **impulsores indirectos** de cambio son aquellos factores naturales o inducidos por los seres humanos que actúan de un modo difuso, afectando a uno o más impulsores directos. Los impulsores indirectos pueden ser de carácter demográfico, económico, sociopolítico, científico, tecnológico, cultural o religioso.

Entendemos por **impulsores directos** de cambio aquellos factores, naturales o inducidos por los seres humanos, que actúan de manera inequívoca sobre los procesos de los ecosistemas. Los impulsores directos considerados en este informe son:

- los cambios de usos del suelo;
- el cambio climático;
- la contaminación;
- las especies introducidas o eliminadas
- el consumo de recursos.

Las políticas municipales desarrolladas por el Ayuntamiento de Madrid, objeto de análisis de este informe, constituyen por tanto un impulsor indirecto de cambio que influye en diversos impulsores directos, afectando al funcionamiento del ecosistema urbano y su capacidad para proveer servicios. Sin embargo, hay que señalar que la existencia de otros impulsores indirectos como la demografía o la situación socioeconómica de crisis global han actuado sobre los impulsores directos en Madrid. En el capítulo 3 podremos ver como alguno de los cambios en los impulsores directos en Madrid coinciden con el comienzo de la crisis en 2008.

2.3. Servicios de los ecosistemas

Los servicios de los ecosistemas son las contribuciones directas e indirectas de los ecosistemas al bienestar humano. Existen tres tipologías principales de servicios:

- **Servicios de abastecimiento:** son las contribuciones directas al bienestar humano provenientes de la estructura biótica o geótica de los ecosistemas.
- **Servicios de regulación:** son aquellas contribuciones indirectas al bienestar humano provenientes del funcionamiento de los ecosistemas.

- **Servicios culturales:** son las contribuciones intangibles o no materiales que las personas obtienen a través de experiencias en los ecosistemas.

Aunque son diversas las clasificaciones de servicios utilizadas, en este informe hemos utilizado la versión 4.3 de la Clasificación Internacional Común de Servicios de los Ecosistemas (*Common International Classification of Ecosystem Services –CICES–*) elaborada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (2016) adaptándola al contexto urbano en general y la ciudad de Madrid en particular. Para ello nos hemos guiado por los trabajos realizados por Gómez-Baggethun y Barton (2013), Gómez-Baggethun et al. (2013), Rocha et al. (2015) y Maes et al. (2016).

Los servicios están clasificados en secciones, divisiones, grupos y clases. Las **secciones** corresponden a las tres principales categorías de servicios (abastecimiento, regulación y culturales). Las **divisiones** son los principales procesos en los que se subdividen las secciones. Los **grupos** dividen las categorías de las divisiones por procesos de tipo biológico, físico o cultural. Por último, las **clases** conforman una subdivisión de los grupos en procesos biológicos, materiales, bio-físicos y culturales que corresponden a servicios concretos e identificables.

A continuación exponemos el listado de servicios relevantes para el ecosistema urbano de la ciudad de Madrid.

2.3.1. Servicios de abastecimiento

Los servicios de abastecimiento (Tabla 1) incluyen aquellos relacionados con la nutrición, como los alimentos y el agua; todo tipo de materiales utilizados por el ser humano para la fabricación, construcción y suministro de bienes y servicios; y todos los tipos de fuentes de energía.

Tabla 1. Servicios de abastecimiento.

División	Grupo	Clase
Nutrición	Biomasa	Alimentos
	Agua	Agua superficial para consumo humano
Materiales	Biomasa	Fibras y otros materiales procedentes de plantas, algas y animales
	Agua	Agua superficial para otros usos diferentes al consumo humano
		Agua subterránea para otros usos diferentes al consumo humano
	Materiales de origen abiótico	Metálicos
No metálicos		
Energía	Fuentes de energía de origen biótico	Energía procedente de la biomasa
	Fuentes de energía renovables de origen abiótico	Energía minihidráulica
		Energía eólica
		Energía solar

División	Grupo	Clase
		Energía geotérmica
	Fuentes de energía no renovable	Energía procedente de combustibles fósiles

Fuente: Elaboración propia a partir de la Clasificación Internacional Común de Servicios de los Ecosistemas (CICES) de la Agencia Europea de Medio Ambiente.

2.3.2. Servicios de regulación

Los servicios de regulación (Tabla 2) incluyen los relacionados con la regulación y depuración de los flujos de materia y energía derivados de los impactos o alteraciones de los ciclos naturales provocados por la actividad humana como pueden ser la producción de residuos, la contaminación o el cambio climático.

Tabla 2. Servicios de regulación.

División	Grupo	Clase
Depuración y tratamiento de residuos y contaminantes, y reducción de efectos adversos	Depuración y tratamiento por los seres vivos	Tratamiento de residuos
	Depuración, tratamiento y reducción por los ecosistemas	Regulación de la calidad del aire
		Depuración del agua
		Reducción del ruido
Regulación de flujos	Flujos de masa	Control de la erosión
		Estabilización del terreno
	Flujos líquidos	Regulación de la escorrentía superficial y protección contra inundaciones
Regulación de las condiciones físicas, químicas y biológicas	Mantenimiento de los ciclos vitales y protección del hábitat y acervo genético	Polinización y dispersión de semillas
	Control de plagas y enfermedades	Control de plagas
	Composición y formación del suelo	Regulación de la fertilidad del suelo
	Composición atmosférica y regulación del clima	Regulación climática global por reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero
Regulación de la temperatura local		

Fuente: Elaboración propia a partir de Clasificación Internacional Común de Servicios de los Ecosistemas (CICES) de la Agencia Europea de Medio Ambiente.

2.3.3. Servicios culturales

Los servicios culturales (Tabla 3) incluyen aquellos beneficios intangibles procedentes de la experiencia que las personas obtienen de la interacción con los elementos naturales del ecosistema urbano.

Tabla 3. Servicios culturales.

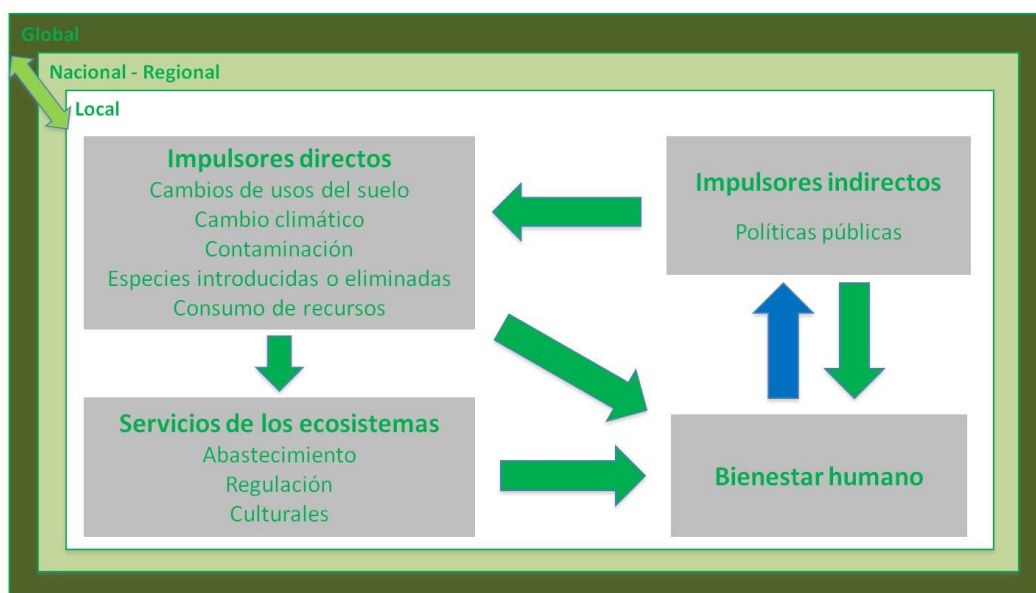
División	Grupo	Clase
Interacciones físicas e intelectuales con los seres vivos, los ecosistemas y los paisajes	Interacciones intelectuales y representativas	Conocimiento científico
		Educación ambiental
		Patrimonio
		Actividades recreativas
		Beneficios estéticos

Fuente: Elaboración propia a partir de Clasificación Internacional Común de Servicios de los Ecosistemas (CICES) de la Agencia Europea de Medio Ambiente.

2.4. El marco conceptual de la evaluación de los servicios de los ecosistemas

Siendo el objetivo de este estudio analizar el impacto ambiental de las políticas municipales del Ayuntamiento de Madrid, hemos tomado como punto de partida el marco conceptual de los servicios de los ecosistemas, que queda recogido en la Figura 2, para el diseño metodológico de una propuesta de evaluación.

Figura 2. Marco conceptual para la evaluación de los servicios de los ecosistemas.



Fuente: Elaboración propia a partir de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España (2011).

Partimos de la base que el objetivo de cualquier política municipal debe ser satisfacer las necesidades y mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad, es decir, contribuir al bienestar de su población. Por ello, la propuesta de evaluación consiste en analizar la variación en la capacidad para proveer de los servicios del ecosistema urbano que contribuyen al bienestar de la ciudadanía.

Las políticas públicas constituyen impulsores indirectos de cambio que influyen en uno o varios impulsores directos como son los cambios de usos del suelo, el cambio climático, la contaminación, las especies introducidas o eliminadas y el consumo de recursos. Analizando la

variación de estos impulsores directos, podremos evaluar el efecto que sobre ellos han tenido las políticas públicas.

A su vez, estos impulsores directos influyen tanto en la capacidad del ecosistema urbano para generar servicios como en la demanda de dichos servicios. El bienestar de los habitantes de la ciudad dependerá, por tanto, de cómo los impulsores directos han afectado a la capacidad del ecosistema para generar los servicios que la ciudadanía necesita.

Así, cerrando el círculo, las políticas públicas deberán elaborarse con el objetivo de garantizar el bienestar humano por medio de la optimización en la provisión de los servicios de los ecosistemas.

3. La ciudad de Madrid como ecosistema: estructura y funcionamiento.

3.1. Escala espacial de trabajo

La escala espacial de trabajo se ajusta en cada momento a nuestros objetivos y unidades de análisis. Principalmente contemplamos el municipio de Madrid como nuestra área de estudio, al ser nuestro principal objetivo evaluar el impacto de las políticas del Ayuntamiento sobre la capacidad del ecosistema urbano de proveer servicios ecosistémicos. Así, esta será nuestra escala espacial para describir y analizar la estructura y funcionamiento del ecosistema urbano (capítulo 3), identificar y describir las políticas del periodo 2003-2015 que han podido tener un impacto ambiental significativo (capítulo 4) y realizar la evaluación cualitativa de qué impulsores directos y servicios se han visto afectados por estas políticas (capítulo 5).

Para el análisis cuantitativo de la afección de las políticas públicas al suministro y demanda de servicios (capítulos 6 y 7), la evaluación podrá realizarse, siempre y cuando los datos disponibles lo permitan, a tres escalas espaciales diferentes: municipio, distrito y barrio. De esta forma ponemos de manifiesto que el suministro de algunos servicios, por ejemplo la regulación de la temperatura local, tienen relevancia en el entorno inmediato de la unidad suministradora, mientras que otros tienen influencia a nivel municipal o, incluso, regional o global, como la regulación del clima a través del secuestro de gases de efecto invernadero (GEI).

3.2. Estructura del ecosistema urbano de Madrid

Desde el análisis de la provisión de servicios del ecosistema urbano que realizamos, es fundamental comprender cuál es la estructura del ecosistema con el que vamos a trabajar, en este caso el municipio de Madrid. Las dos dimensiones básicas que van a definir la capacidad de proveer servicios de un ecosistema son su estructura y su funcionamiento.

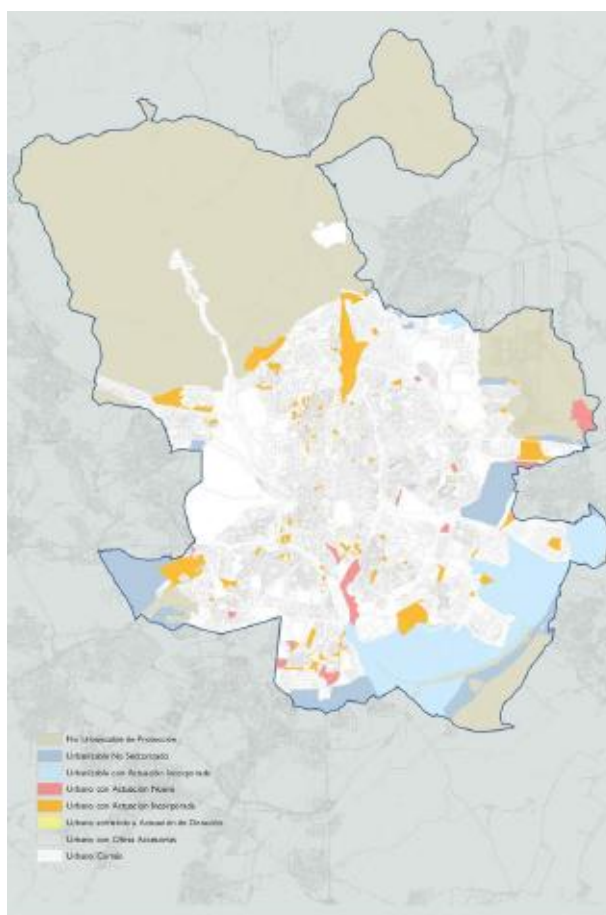
Si acudimos a la definición de ecosistema como una unidad funcional constituida por componentes vivos y no vivos, ligados por una trama de relaciones biofísicas que intercambian materia y energía y se auto-organizan en el tiempo (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España, 2011), podemos entender claramente estas dos dimensiones.

Para realizar el análisis de la estructura del ecosistema urbano de Madrid hemos utilizado distintas fuentes informativas, destacando el *Informe de Sostenibilidad Ambiental de la Revisión del Plan General* (2013) y la *Memoria de actividades de la Dirección General de zonas verdes, limpieza y residuos* (2013), ambos documentos elaborados por el Ayuntamiento de Madrid.

En el caso de Madrid, el ecosistema se estructura como un continuo en el espacio de elementos urbanos que abarcan espacios urbanizados y espacios naturales o naturalizados en los cuáles se establecen una serie de flujos que son los que generan los servicios. En términos generales podríamos hablar que del total de la superficie del municipio de Madrid (604.699.216 m² según el Plan General de Ordenación Urbana de 1997, en adelante PG97) existen 235.504.946 m² que están clasificados como no urbanizables (Figura 3). Esta superficie sería la que, en términos generales, suministra servicios ecosistémicos, sin olvidar que hay

espacios urbanizados en los que se encontramos árboles, parques, jardines, etc., que también suministran servicios dentro del ecosistema urbano.

Figura 3. Mapa de clasificación y categorización del suelo del municipio de Madrid.



*El color marrón representa el suelo no urbanizable.

Fuente: Informe de Sostenibilidad Ambiental de la Revisión del Plan General. Ayuntamiento de Madrid, 2013.

La estructura de un ecosistema le va a permitir la provisión de unos u otros servicios en mayor o menor medida. Un ejemplo fácilmente comprensible es la diferencia existente en la provisión de servicios entre un encinar adhesionado con pies de árbol aislados y separados entre sí y un bosque de encinas. En el primer caso, y si hablamos de un servicio concreto como es el aprovisionamiento de alimentos para consumo humano, podemos comprobar que los espacios abiertos son utilizados por el ganado para alimentarse de unas determinadas especies de plantas que crecen allí y transformarlas en carne que es aprovechada por el ser humano. En el caso del bosque de encinas cerrado, estos espacios abiertos no existen, lo cual imposibilita la provisión de ese servicio de abastecimiento.

Para facilitar la comprensión de este flujo de servicios en los ecosistemas y su relación con la estructura espacial de un ecosistema, introducimos aquí el concepto de **unidad suministradora de servicios (USS)**. Volviendo al ejemplo anterior, la unidad suministradora para el servicio de provisión de alimentos sería el pasto del que se alimenta el ganado.

Estas unidades de suministro son variables en función del servicio analizado, pudiendo abarcar desde un amplio territorio hasta una especie individual, como por ejemplo, un árbol.

En el caso de los ecosistemas urbanos, este concepto de USS tiene gran importancia, dado que son las unidades susceptibles de gestión y planificación, y por tanto las que pueden ser modificadas para mejorar la provisión de servicios ecosistémicos en la ciudad. En nuestro caso son las que nos van a servir para analizar las políticas desarrolladas en el municipio de Madrid. En la Tabla 4 se puede ver la relación de USS y ejemplos de servicios que proveen.

Tabla 4. Unidades suministradoras de servicios y ejemplos de servicios que proveen.

Tipo de USS	USS	Servicios que provee
Seres vivos individuales	Microorganismos	<i>Servicios de regulación:</i> tratamiento de residuos, depuración del agua. <i>Servicios culturales:</i> conocimiento científico, educación ambiental.
	Insectos	<i>Servicios de regulación:</i> tratamiento de residuos, polinización. <i>Servicios culturales:</i> educación ambiental, beneficios estéticos.
	Otros animales	<i>Servicios de regulación:</i> dispersión de semillas. <i>Servicios culturales:</i> educación ambiental, beneficios estéticos.
	Vegetación	<i>Servicios de abastecimiento:</i> alimentos, energía. <i>Servicios de regulación:</i> regulación de la calidad del aire, depuración del agua, reducción del ruido, reducción de la escorrentía, regulación del clima. <i>Servicios culturales:</i> conocimiento científico, educación ambiental, beneficios estéticos.
Masas de agua	Ríos y arroyos	<i>Servicios de abastecimiento:</i> agua, energía. <i>Servicios de regulación:</i> depuración del agua, regulación de la temperatura local. <i>Servicios culturales:</i> conocimiento científico, educación ambiental, actividades recreativas, beneficios estéticos.
	Embalses	<i>Servicios de abastecimiento:</i> agua, energía. <i>Servicios de regulación:</i> regulación climática global. <i>Servicios culturales:</i> actividades recreativas, beneficios estéticos.
	Acuíferos	<i>Servicios de abastecimiento:</i> agua. <i>Servicios culturales:</i> conocimiento científico, educación ambiental.
	Otras láminas de agua artificiales (fuentes, estanques...)	<i>Servicios de regulación:</i> regulación de la temperatura local. <i>Servicios culturales:</i> educación ambiental, actividades recreativas, beneficios estéticos.
Estructuras de origen abiótico	Suelo	<i>Servicios de abastecimiento:</i> materiales metálicos y no metálicos. <i>Servicios de regulación:</i> reducción del ruido, regulación de la escorrentía, regulación climática global. <i>Servicios culturales:</i> conocimiento científico, educación ambiental.

Tipo de USS	USS	Servicios que provee
Espacios verdes	Espacios verdes urbanos	<i>Servicios de regulación:</i> reducción del ruido, regulación de la escorrentía, regulación climática global, regulación de la temperatura local. <i>Servicios culturales:</i> educación ambiental, actividades recreativas, beneficios estéticos.
	Huertos urbanos	<i>Servicios de abastecimiento:</i> alimentos. <i>Servicios de regulación:</i> polinización y dispersión de semillas. <i>Servicios culturales:</i> conocimiento científico, educación ambiental, beneficios estéticos, actividades recreativas
	Cubiertas verdes, jardines verticales...	<i>Servicios de regulación:</i> regulación de la calidad del aire, reducción del ruido, regulación del clima. <i>Servicios culturales:</i> beneficios estéticos.
	Espacios rústicos-forestales	<i>Servicios de abastecimiento:</i> alimentos, materiales de origen biótico. <i>Servicios de regulación:</i> polinización y dispersión de semillas, regulación del clima. <i>Servicios culturales:</i> educación ambiental, actividades recreativas, beneficios estéticos.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se detallan las principales características de estas unidades suministradoras de servicios.

Seres vivos: La unidad mínima de provisión de servicios son los seres vivos. En nuestro caso las hemos subdividido en cuatro unidades debido a las especificidades de algunas especies en la provisión de determinados servicios. Estas cuatro unidades son: microorganismos, insectos, otros animales y especies vegetales.

Aunque no existe un índice de biodiversidad de la ciudad de Madrid que permita valorar cuál es la situación de estas especies que acompañan a los seres humanos y su evolución, podemos estimar que tienden a reducirse debido a las presiones urbanísticas, la contaminación, la presencia de especies invasoras, etc., disminuyendo el índice de biodiversidad. También la falta de conectividad de las distintas USS que veremos a continuación (masas de agua, espacios verdes...) hace que la abundancia de muchas de estas especies se vea mermada por el aislamiento de las poblaciones o la falta de polinizadores en el caso de las plantas.

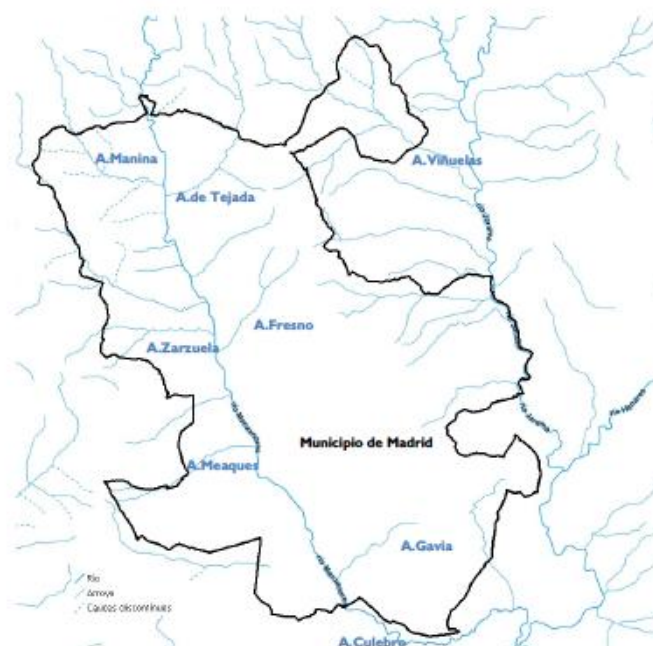
En cuanto a los árboles, de los que existen estadísticas más concretas, su número en julio de 2013 era de 293.356 pies. Esta cifra incluye tanto los árboles plantados en el viario público como los de las zonas verdes en vía pública. Las estadísticas de los existentes en viario urbano indica un incremento desde los 216.332 en 2003 hasta los 247.343 en 2013. Sin embargo este dato no supone la existencia de una continuidad espacial en el arbolado existente, por lo que parte de los servicios que los árboles pueden proveer se ve mermado.

Masas de agua: En este caso hemos distinguido cuatro unidades de suministro que son: Ríos y arroyos, embalses, acuíferos y otras láminas artificiales de agua (estanques, fuentes, etc.).

Como se aprecia en la Figura 4, el principal río del término municipal de Madrid es el Manzanares, que entra en el término municipal por el Monte del Pardo alimentando el embalse del mismo nombre, al que también llegan las aguas de los arroyos Manina y Tejada. Más abajo de este espacio natural, el río comienza su curso urbano en torno a la ciudad

universitaria, entrando después, brevemente, en la Casa de Campo, donde recibe las aguas del arroyo de Meaques.

Figura 4. Red hidrográfica del municipio de Madrid.



Fuente: Informe de Sostenibilidad de la Revisión del Plan General. Ayuntamiento de Madrid, 2013.

En su siguiente tramo sirve de frontera entre numerosos distritos, dejando en su margen suroeste a los de Latina, Carabanchel, Usera y Villaverde y en el noreste a los distritos Centro, Arganzuela, Puente de Vallecas, Villa de Vallecas y al resto de la ciudad. En esta fase, concretamente entre los distritos de Arganzuela y Puente de Vallecas, recibe el cauce del soterrado arroyo Abroñigal; también recibe las aguas del arroyo Butarque, éstas en torno al distrito de Villaverde.

A su salida de la ciudad de Madrid, el río entra en el extremo oriental del municipio de Getafe, donde recibe las aguas del arroyo Culebro para desembocar poco después en el río Jarama, ya en el entorno de Rivas-Vaciamadrid.

Además de los que desaguan en el Manzanares, existen otros pequeños cursos fluviales en el municipio. Es el caso de los arroyos de la Moraleja, de la Vega, Valdelamasa o Viñuelas, que desaguan directamente en el Jarama o del arroyo Cedrón, que lo hace en el Guadarrama.

En cuanto a embalses, el único existente en el municipio de Madrid es el de El Pardo, con una superficie de 1.179 ha., tal y como muestra la Figura 5.

Figura 5. Embalses y humedales protegidos en el municipio de Madrid.



Fuente: Informe de Sostenibilidad de la Revisión del Plan General. Ayuntamiento de Madrid, 2013.

En relación a las aguas subterráneas, el municipio de Madrid se halla dentro del área del acuífero terciario detrítico de la Comunidad de Madrid. Dentro de la explotación de este caudal subterráneo, cabe señalar los Campos de pozos de Fuencarral como uno de los puntos clave para el aprovechamiento de sus aguas subterráneas. El caudal es de 14 Hm³ anuales que se bombean al depósito de El Goloso.

Por último señalar las masas de agua artificiales existentes en la ciudad de Madrid, destacando el estanque del Retiro o el lago de la Casa de Campo.

Suelo: El municipio de Madrid se encuentra inmerso en una amplia cubeta sedimentaria que los geólogos denominan la cuenca de Madrid. La cuenca de Madrid forma parte, junto con la Depresión Intermedia o cuenca de Loranca, de una depresión mayor que es la cuenca del Tajo.

Además de las funciones propias del suelo como soporte de vida, en el caso del municipio de Madrid también se puede contabilizar su capacidad para suministrar algunos minerales en minas y canteras, como la de sepiolita en Vicálvaro.

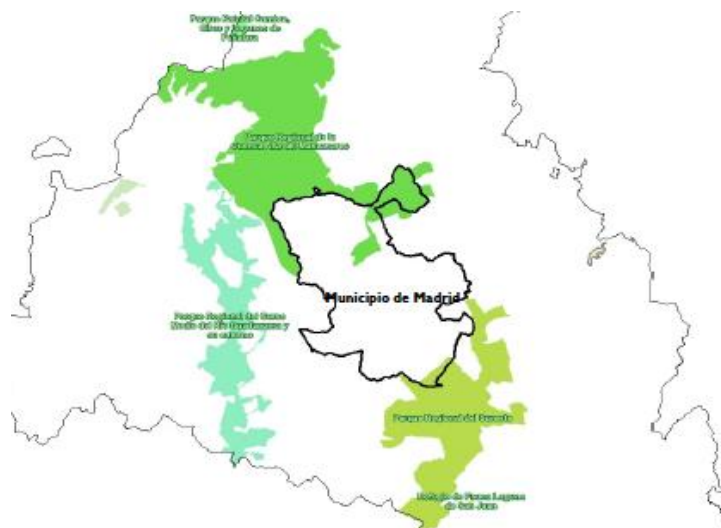
Espacios verdes: La trama de zonas verdes del municipio de Madrid es muy variada. Algunas son de gestión municipal y otras son de gestión autonómica o estatal. Además de las zonas verdes urbanas de gestión municipal, tenemos una serie de espacios naturales con distintas figuras de protección y que cumplen un papel primordial en la provisión de algunos servicios ecosistémicos.

En el municipio de Madrid se incluyen parte de dos espacios naturales protegidos como son el Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares y el Parque Regional del Sureste (Figura 6) y los siguientes Lugares de Interés Comunitario (LICs) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPAs) de la Red Natura 2000 (Figura 7 y Figura 8):

- El LIC de la Cuenca Alta del Río Manzanares.
- El LIC Vegas, cuevas y páramos del Sureste de Madrid.

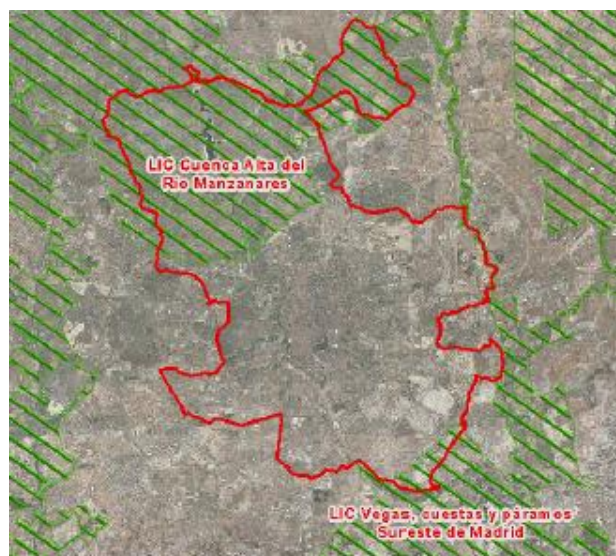
- ZEPA Monte de El Pardo.
- ZEPA Soto de Viñuelas.
- ZEPA Cortados y cantiles de los ríos Manzanares y Jarama.

Figura 6. Espacios naturales protegidos en el municipio de Madrid.



Fuente: Informe de Sostenibilidad de la Revisión del Plan General. Ayuntamiento de Madrid, 2013.

Figura 7. LICs en el municipio de Madrid.



Fuente: Informe de Sostenibilidad de la Revisión del Plan General (Ayuntamiento de Madrid, 2013).

Figura 8. ZEPAs en el municipio de Madrid.



Fuente: Informe de Sostenibilidad de la Revisión del Plan General. Ayuntamiento de Madrid, 2013.

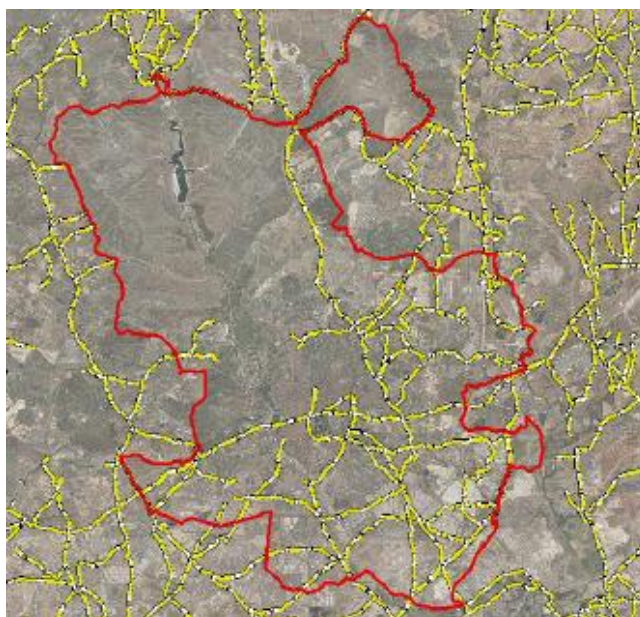
Además de estos espacios protegidos existen otros parques urbanos de interés especial como los que están declarados Bienes de Interés Cultural (BIC):

- Casa de Campo
- El Capricho de la Alameda de Osuna
- Parque de Campo del Moro
- Jardín Botánico
- Jardín de la Quinta, en El Pardo
- Jardines de la Zarzuela, en El Pardo
- Jardines del Príncipe, en El Pardo
- Jardines de El Palacio, en el Pardo
- Parque del Retiro
- Parque de la Quinta de la Fuente del Berro

Todos estos espacios junto a los parques, jardines y zonas verdes de los distritos suman 6.400 ha. Sin embargo hay que tener en cuenta que su distribución es muy heterogénea, con algunos distritos con más de 2.000 ha de zonas verdes y otros que no llegan a las 50 ha.

También hay que señalar la existencia de una red de vías pecuarias (Figura 9), que pueden tener un importante papel como corredores ecológicos y como proveedoras de servicios culturales.

Figura 9. Vías pecuarias en el municipio de Madrid.



Fuente: Informe de Sostenibilidad de la Revisión del Plan General. Ayuntamiento de Madrid, 2013.

En relación a la función conectora de los espacios naturales, hay que señalar la existencia de una serie de corredores ecológicos (Figura 10) que la Comunidad de Madrid ha identificado y que quiere potenciar a nivel regional y con implicaciones para la red ambiental municipal:

- Vía verde de Fuencarral: Discurre por las zonas forestales entre los municipios de Madrid y el continuo urbano de Alcobendas-San Sebastián de los Reyes poniendo en conexión los ríos Manzanares y Jarama por el norte.
- Vía verde de Alcobendas: Da continuidad a las zonas verdes de Valdebebas hacia el norte hasta el río Jarama.
- Vía Verde de Coslada: Conexión E-W que pone en relación el río Jarama con zonas verdes de Torrejón, Coslada y Madrid.
- Vía verde de Getafe: Establece una continuidad del eje de la Castellana-Avenida de Córdoba hacia el sur, conectando con el arroyo Culebro a través de Getafe.
- Vía Verde de Tetuán: Discurre por la dehesa de este nombre y conecta a través de los suelos de Campamento y Alcorcón con el río Guadarrama.
- Vía Verde de Aravaca: Comunica la Casa de Campo con el Monte del Pilar.

Figura 10. Corredores ecológicos en el municipio de Madrid.



Fuente: Informe de Sostenibilidad de la Revisión del Plan General. Ayuntamiento de Madrid, 2013.

Dentro de los espacios verdes de Madrid, cabe destacar tanto por su papel social como por actuar como un importante suministrador de servicios, la red de huertos urbanos de Madrid, que a finales de 2016 contará con 46 huertos en los diferentes distritos de Madrid.

Por último, incluimos aquí todos los espacios privados de cubiertas verdes, jardines verticales, terrazas y jardines de viviendas, etc. que aunque difícilmente cuantificables, cumplen una función importante en la provisión de servicios, debido a su capacidad conectora entre diferentes infraestructuras verdes de la ciudad.

3.3. Funcionamiento del ecosistema urbano de Madrid

El funcionamiento del ecosistema urbano de Madrid es descrito en este capítulo a través de los impulsores de cambio mencionados en el capítulo 2 de este documento. Para ello, hemos analizado la evolución de los impulsores durante los últimos años. Para la obtención de los datos hemos consultado principalmente fuentes de información municipales como el *Informe de Sostenibilidad de la Revisión del Plan General*, la *Memoria de la D.G. de zonas verdes, limpieza y residuos de 2013*, el *Balance energético del municipio de Madrid de 2014*, el *Inventario de emisiones contaminantes a la atmósfera* y el *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de 2014*, el *Mapa Estratégico de Ruido de 2011* y la *Memoria de Actividades del Parque Tecnológico de Valdemingómez de 2015* así como los datos estadísticos de los portales web de *datos abiertos* y de estadística del Ayuntamiento. Esta información ha sido completada con la de fuentes documentales de otras instituciones.

3.3.1. Cambios de usos del suelo

Los cambios de usos del suelo son uno de los principales impulsores directos de cambio ya que muchas políticas municipales afectan a los mismos y, como consecuencia, modifican las unidades suministradoras de servicios del municipio madrileño. Es un impulsor de cambio que además afecta directamente a los otros impulsores como el consumo de recursos, la contaminación, las especies introducidas o eliminadas o el cambio climático. Por ejemplo, un nuevo desarrollo urbanístico puede suponer la eliminación de especies a través del proceso de urbanización de un ecosistema natural, influir negativamente en la contaminación atmosférica

y el cambio climático al aumentar las emisiones de gases contaminantes procedentes del transporte, al crear nuevas necesidades de desplazamiento, e incrementar el consumo de recursos tanto en su fase de construcción como en la de uso.

En los últimos 12 años las zonas verdes en conservación municipal de Madrid se han incrementado en un 34%, incluyendo tanto superficie de grandes parques y áreas forestales como zonas verdes de distrito. Sin embargo, este crecimiento ha sido desigual dependiendo del distrito, siendo incluso negativo en muchos de ellos. Así, nos encontramos con algunos distritos periféricos como Villaverde, Villa de Vallecas y Hortaleza, en los que la superficie de zonas verdes se ha incrementado considerablemente, mientras que en el resto el crecimiento ha sido muy bajo o, incluso, negativo. Además, el incremento de zonas verdes se ha producido principalmente por la creación de nuevos parques que se han incorporado a la gestión municipal, como es el caso del Parque Forestal de Valdebebas, con una superficie de 470 ha, en terrenos que anteriormente no estaban urbanizados y, que por tanto, ya suministraban una serie de servicios de regulación al ecosistema urbano de Madrid.

La Tabla 5 muestra un incremento de suelo urbano consolidado a partir del suelo urbanizable y suelo urbano no consolidado que han adquirido la condición de urbano. También disminuye el suelo no urbanizable debido a la reclasificación del suelo no urbanizable común, ya que en la Revisión del Plan General de Ordenación Urbana no existe esta categoría y la totalidad del suelo no urbanizable es protegido.

Tabla 5. Comparativa de la clasificación del suelo del municipio de Madrid del Plan General de Ordenación Urbana de 1997 y de la Revisión del Plan General (m²).

CLASES DE SUELO	PGOUM-97	REVISIÓN	DIFERENCIA
Urbano consolidado	194.123.237	262.522.962	68.399.725
Urbano no consolidado	56.574.788	24.807.899	-31.766.888
Urbanizable	101.300.687	66.689.250	-34.611.437
No urbanizable	252.694.664	250.224.900	-2.469.764
TOTAL	604.693.375	604.245.012	

* La diferencia de los totales se debe a los errores en las herramientas de medición de ambos planes, así como a la modificación de la línea del término municipal.

Fuente: Revisión del Plan General. Informe de Sostenibilidad Ambiental. Tomo I. Ayuntamiento de Madrid, 2013.

Las políticas municipales de la última década han promovido nuevos desarrollos urbanísticos incrementando la superficie municipal urbanizada y ocupando extensiones de suelo que anteriormente no lo estaban. A nivel cuantitativo el incremento de la superficie urbanizada no es muy grande pero sí a nivel cualitativo ya que estos cambios en el uso del suelo provocan una reducción de la capacidad del ecosistema urbano para suministrar servicios e incrementan la demanda de servicios de regulación y abastecimiento.

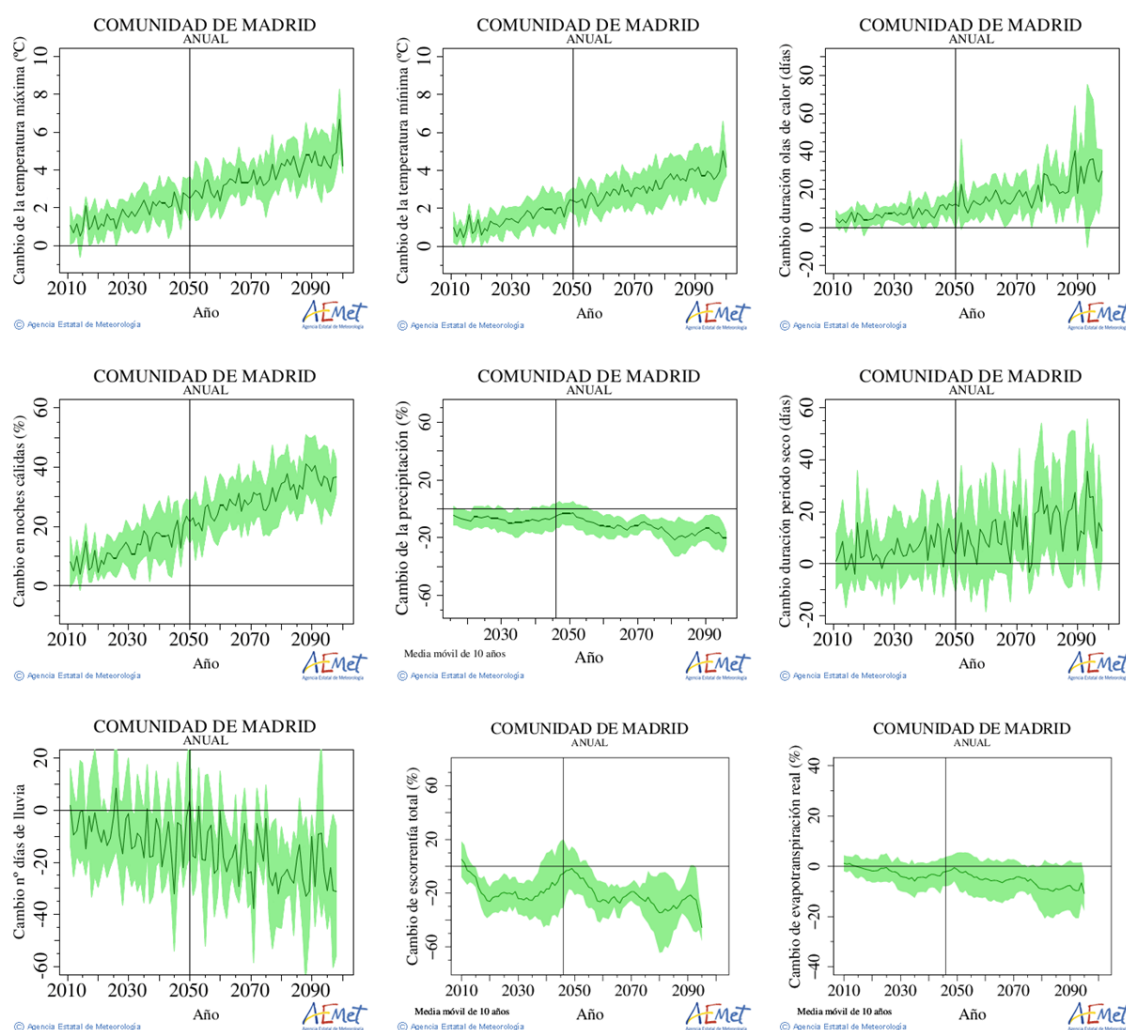
3.3.2. Cambio climático

El cambio climático es un fenómeno de carácter global que afecta directamente a la capacidad de los ecosistemas de suministrar servicios y, por tanto, al bienestar humano. Las ciudades tienen un papel clave en la lucha contra el cambio climático ya que son las que mayormente contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Los efectos del mismo son de carácter muy diverso y depende de la región en la que nos encontremos pero a nivel

general se espera que se aumenten en número e intensidad los eventos climáticos extremos como huracanes, lluvias torrenciales, sequías u olas de calor.

En la Comunidad de Madrid las proyecciones climáticas calculadas a partir de los resultados del Cuarto Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC-AR4) (Morata, 2014) prevén que las temperaturas máximas y mínimas, la duración de las olas de calor y el nº de noches cálidas se incrementarán, mientras que habrá una reducción de las precipitaciones totales, del nº de días de lluvia, de la escorrentía y de la evapotranspiración, a la vez que se incrementará la duración de los periodos secos (Figura 11). En un lugar como Madrid, caracterizado por temperaturas muy cálidas en verano y escasez de precipitaciones, estos datos resultan preocupantes.

Figura 11. Proyecciones climáticas para la Comunidad de Madrid.



Fuente: Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR4. Morata, 2014.

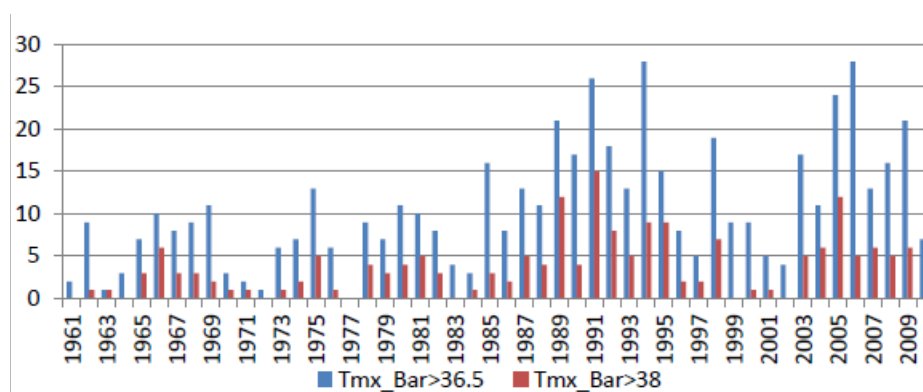
A continuación analizamos la evolución e impactos de los tres fenómenos climáticos con mayor repercusión en el municipio de Madrid: la isla de calor, las sequías y las inundaciones. También evaluamos la contribución del municipio de Madrid al cambio climático a través de la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

3.3.2.1. La isla de calor

Los impactos previstos sobre la salud humana como consecuencia del incremento en el número e intensidad de las olas de calor se traducen en un aumento de las tasas de mortalidad y morbilidad. Las olas de calor provocan estrés cardiovascular que puede traducirse en un incremento de las tasas de infarto y muerte prematura. Pero también provocan afecciones al sistema nervioso, problemas respiratorios o complicaciones en enfermedades preexistentes como la diabetes.

En el municipio de Madrid además hay que tener en cuenta el efecto isla de calor que agrava aún más las consecuencias de las altas temperaturas del verano madrileño. Es un fenómeno característico de las áreas urbanas consistente en el incremento de la temperatura en relación a las áreas circundantes no urbanizadas. A causa de ello desde la década de los 60, durante los meses de julio y agosto más del 50% de los años se han alcanzado máximas superiores a los 38°C y más del 80% han superado los 36,5°C (Figura 12).

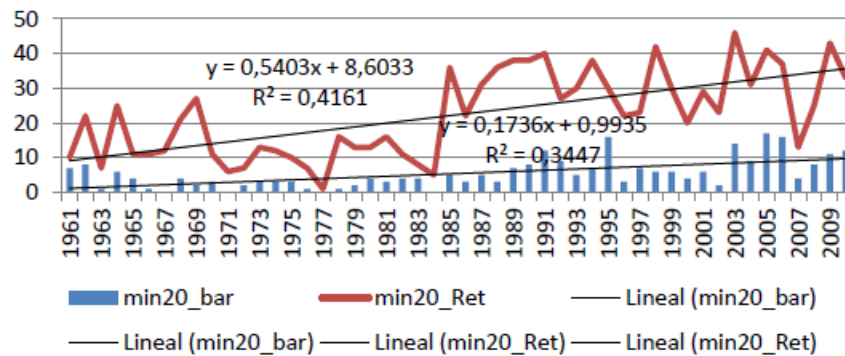
Figura 12. Total de días con temperaturas máximas en Barajas superiores o iguales a 36,5°C y 38°C, durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre (1961-2010).



Fuente: La isla de calor en Madrid durante los períodos cálidos: evaluación de impactos y propuestas de actuación. Fernández et al., 2013.

Otro indicador del incremento de las temperaturas en el municipio de Madrid es la frecuencia anual de las denominadas noches cálidas, con una temperatura mínima superior a 20°C. Al igual que ocurría con las temperaturas máximas extremas, se observa un aumento significativo en Madrid desde el último tercio del pasado siglo. En la Figura 13 se ha representado la frecuencia de noches cálidas registradas en las estaciones meteorológicas de Barajas y Retiro. En ella se observa como en Retiro el número de noches cálidas es bastante mayor que en Barajas, señal inequívoca del efecto de la isla de calor sobre las temperaturas y su evolución.

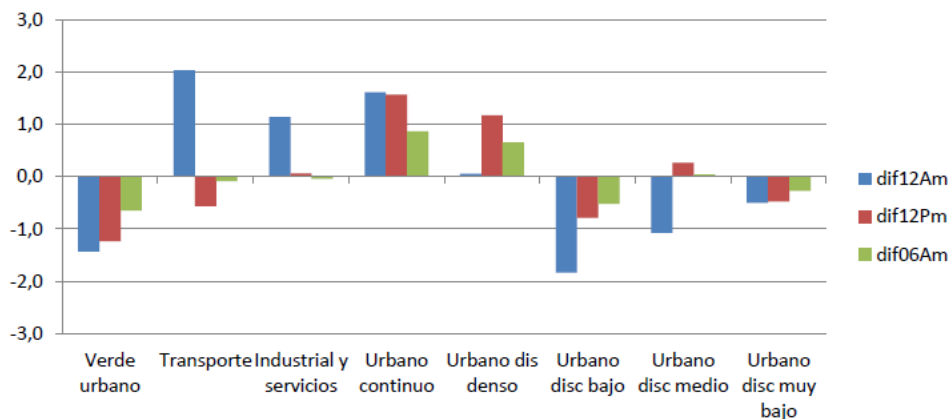
Figura 13. Frecuencia de las noches cálidas en el observatorio urbano del Retiro (Ret) y en el de Barajas (bar) desde 1961 al 2010.



Fuente: La isla de calor en Madrid durante los períodos cálidos: evaluación de impactos y propuestas de actuación. Fernández et al., 2013

Los usos del suelo tienen una relación directa con el efecto isla de calor. Así, durante el día, las temperaturas más altas corresponden a las vías de comunicación y las más bajas al verde urbano y al urbano discontinuo bajo, es decir, las áreas urbanas con menos densidad edificatoria. Durante la noche y la madrugada son las zonas urbanas densas las más cálidas y el verde urbano las más frías (Figura 14).

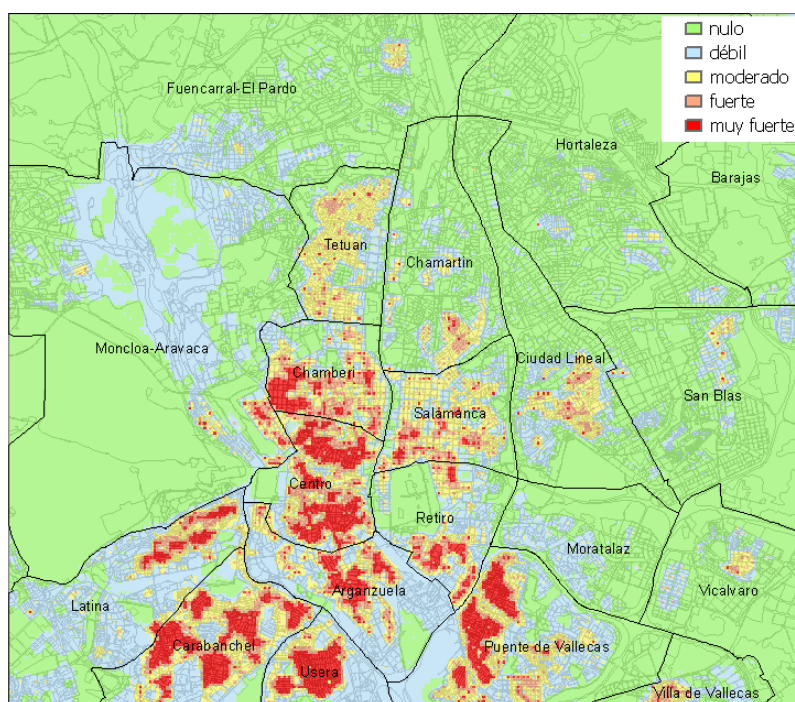
Figura 14. Diferencia de las temperaturas superficiales de cada uso en relación a la media general del municipio de Madrid a diferentes horas del día (12 AM, 12 PM y 6 AM).



Fuente: La isla de calor en Madrid durante los períodos cálidos: evaluación de impactos y propuestas de actuación. Fernández et al., 2013.

Como indicador de las sensaciones térmicas percibidas se utiliza la temperatura fisiológica equivalente (PET) en cuyo cálculo se tienen en cuenta variables como la temperatura del aire, la humedad, el viento, la radiación solar y la emitida por los materiales que componen el escenario urbano. En la Figura 15 se representa espacialmente los impactos de la PET. Para ello utilizan la intensidad de calor fisiológica, obtenida a partir de la diferencia entre la PET registrada en cada cuadrícula y la media general. Se establece cuatro categorías o zonas: *impacto nulo*, la intensidad de la isla de calor es inferior a 0°C; *débil*, inferior a 2°C; *moderado*, entre 2°C y 4°C; y *fuerte o muy fuerte* cuando la intensidad supera los 5°C.

Figura 15. Índice de impacto de la isla de calor fisiológica en un día típico del verano en Madrid.



Fuente: La isla de calor en Madrid durante los períodos cálidos: evaluación de impactos y propuestas de actuación. Fernández et al., 2013.

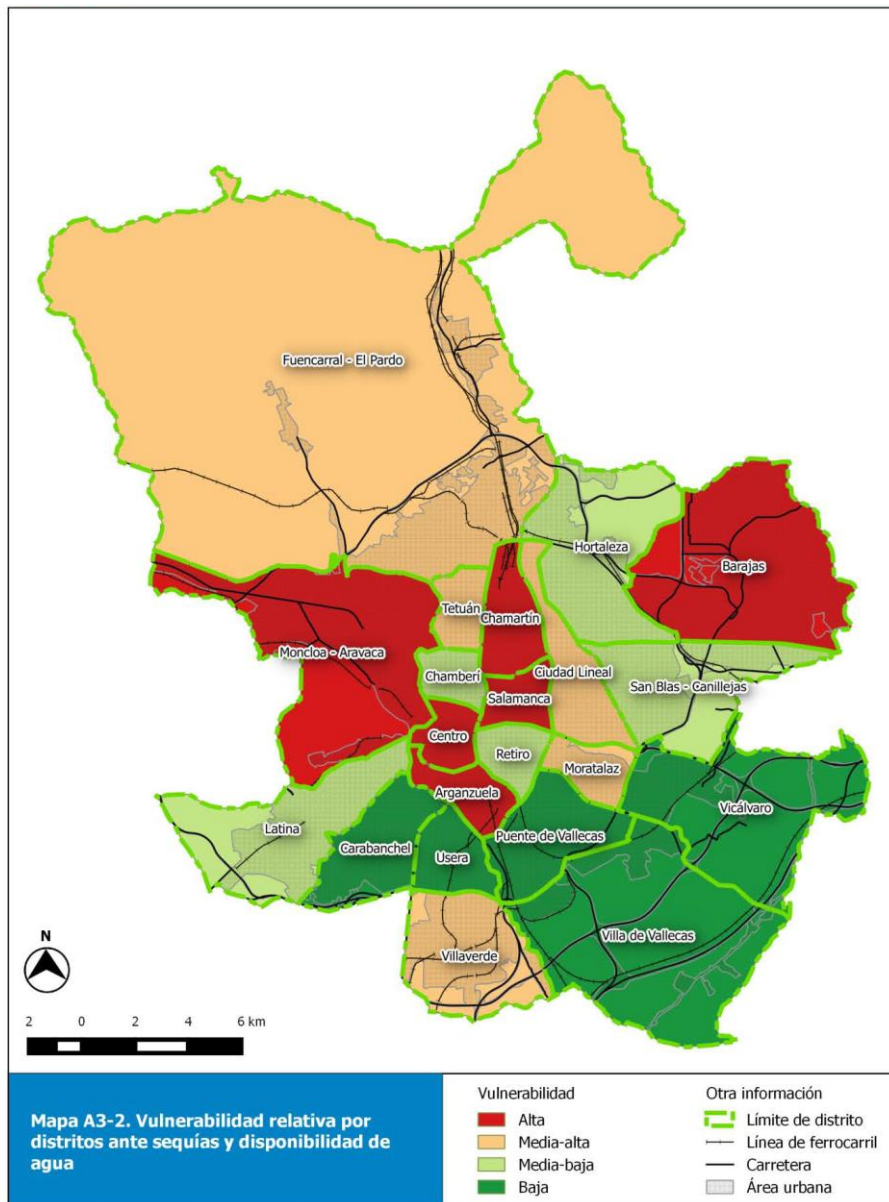
Las zonas de impacto nulo o débil coinciden con los distritos en los que se localizan las grandes manchas verdes de la ciudad, como la Casa de Campo, el Monte del Pardo y el Parque del Retiro; barrios periféricos de urbanizaciones abiertas con abundantes jardines y calles amplias y arboladas y en distritos centrales como Chamartín con importantes urbanizaciones de caserío poco compacto y abundantes zonas verdes. En contraposición, las zonas de impacto fuerte o muy fuerte coinciden con áreas densamente edificadas y con pocos espacios verdes, tal como ocurre en los distritos de Centro, Arganzuela, Carabanchel, Usera, Puente de Vallecas y Chamberí.

3.3.2.2. Sequías

El incremento en número y duración de las sequías tendrá un impacto directo en la disponibilidad de un recurso esencial para el bienestar humano como es el agua. Aunque se ha estudiado la afección de este fenómeno asociado al cambio climático sobre actividades como la agricultura, los impactos de las sequías en el medio urbano son menos conocidos.

En la Figura 16 se muestra la distribución por distritos del índice de vulnerabilidad ante las sequías y la disponibilidad de agua del *Análisis de Vulnerabilidad ante el Cambio Climático en el Municipio de Madrid* (Tapia et al., 2015). Este índice tiene en cuenta la afectación a la actividad económica de la ciudad, considerando que sería el sector principalmente afectado por los cortes en el suministro que pudieran sucederse ante periodos de sequía, preservando la disponibilidad de agua para el consumo humano y las necesidades básicas. Los distritos más vulnerables son, por lo tanto, aquellos con mayor actividad económica como Chamartín, Salamanca, Centro, Chamberí o Barajas.

Figura 16. Vulnerabilidad relativa por distritos ante sequías y disponibilidad de agua.



Fuente: Análisis de vulnerabilidad ante el cambio climático en el municipio de Madrid. Tapia et al., 2015.

3.3.2.3. Inundaciones

Aunque las proyecciones de los efectos del cambio climático prevean una disminución de las precipitaciones existe un gran desconocimiento acerca de las inundaciones provocadas por precipitaciones extremas que en España probablemente aumentarán en intensidad como consecuencia del cambio climático.

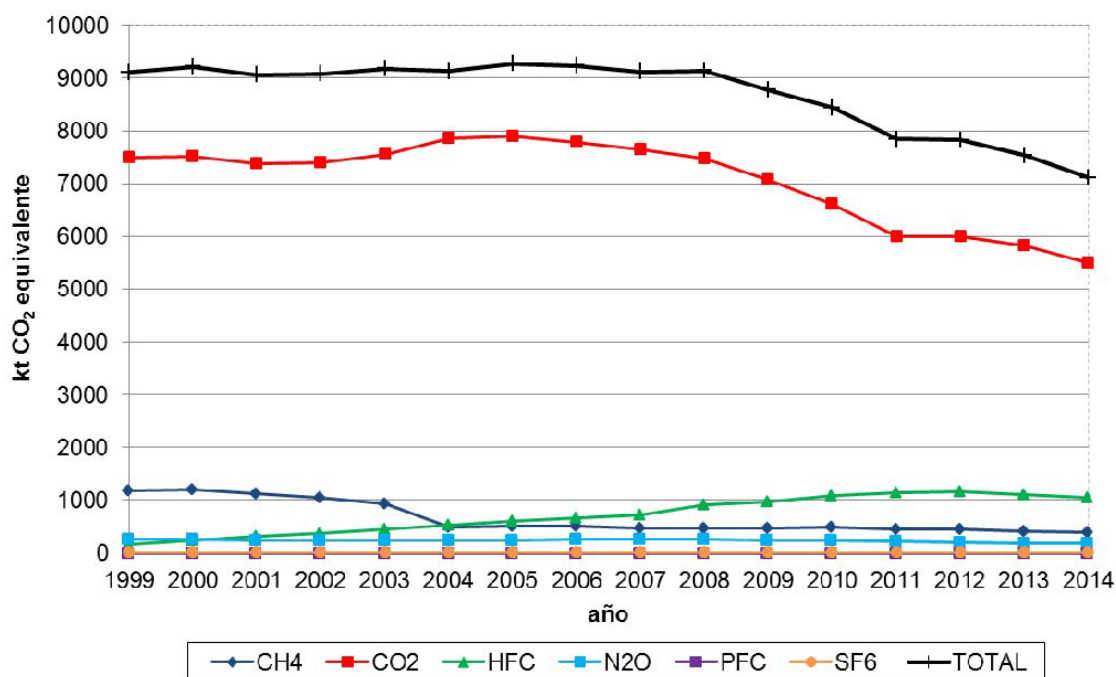
En el municipio de Madrid, según el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), existen tres áreas con diferente valor de riesgo potencial: una primera área de riesgo potencial significativo de inundación correspondiente al cauce del río Manzanares a su paso por el municipio; una segunda zona inundable con probabilidad media u ocasional (periodo de retorno de 100 años) coincidente con la cuenca del Manzanares en su tramo más bajo (desde el distrito de

Villaverde hasta su desembocadura); y, por último, una zona inundable con probabilidad baja o excepcional (periodo de retorno de 500 años) coincidente con el cauce del arroyo Butarque.

3.3.2.4. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

El municipio de Madrid contribuyó a las emisiones de GEI con 10.949 kt de CO₂ equivalente en el año 2014. Para el cómputo total de las emisiones se tienen en cuenta tanto las emisiones directas y las emisiones indirectas, que se calculan a partir de la energía eléctrica facturada y un factor de conversión que refleja el porcentaje de las emisiones de GEI emitidas en la producción de esa energía. Desde el año 1990 al 2014 las emisiones directas de gases de efecto invernadero han descendido en un 14%. Durante el periodo 1999-2008, dichas emisiones permanecieron prácticamente constantes, produciéndose posteriormente un importante descenso (próximo al 19%, en 2014 respecto a 2009) debido, principalmente, a la reducción de dióxido de carbono (CO₂) y, en menor medida, de metano (CH₄). Las emisiones del resto de gases se han mantenido en valores similares o, incluso, han aumentado significativamente, como es el caso de los hidrofluorocarbonos (HFC) (Figura 17).

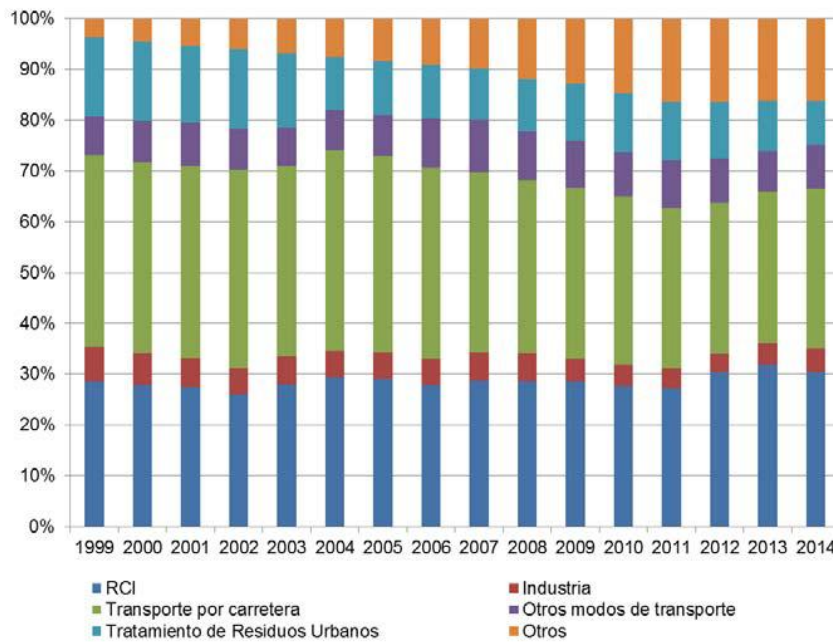
Figura 17. Evolución de las emisiones directas de GEI por tipo de gas.



Fuente: Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del municipio de Madrid. Año 2014.

El compuesto más relevante desde el punto de vista de las emisiones directas de GEI es el CO₂, contribuyendo a lo largo de este periodo con un valor próximo al 81% del total. El transporte por carretera y el sector residencial, comercial e institucional (en adelante, RCI) suponen entre el 59% y el 69% del total de emisiones directas de GEI (Figura 18). Por otra parte, la industria y el tratamiento de residuos han disminuido sus emisiones de GEI respecto del total, mientras que otros sectores han incrementado sus emisiones.

Figura 18. Evolución de la contribución sectorial al total de emisiones directas de CO₂ equivalente.



Fuente: Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del municipio de Madrid. Año 2014.

En el sector RCI las emisiones directas de GEI en 2014 son un 17% inferiores a las de 1999. Esta disminución se debe, fundamentalmente, a la mejora tecnológica de los equipos de combustión y a la sustitución de combustibles de alta tasa de emisión (tipo carbón) por otros con menores emisiones por unidad de energía (tipo gas natural).

Las emisiones de la industria han disminuido un 47% en el periodo 1999-2014. Esta tendencia se debe a la reubicación en otros municipios de ciertas instalaciones industriales que anteriormente se encontraban en el término municipal de Madrid, al cambio en el tipo de combustible empleado (sustitución de carbón y fuelóleo por gas natural) y al descenso del nivel de actividad de algunas de las instalaciones que aún permanecen en el municipio.

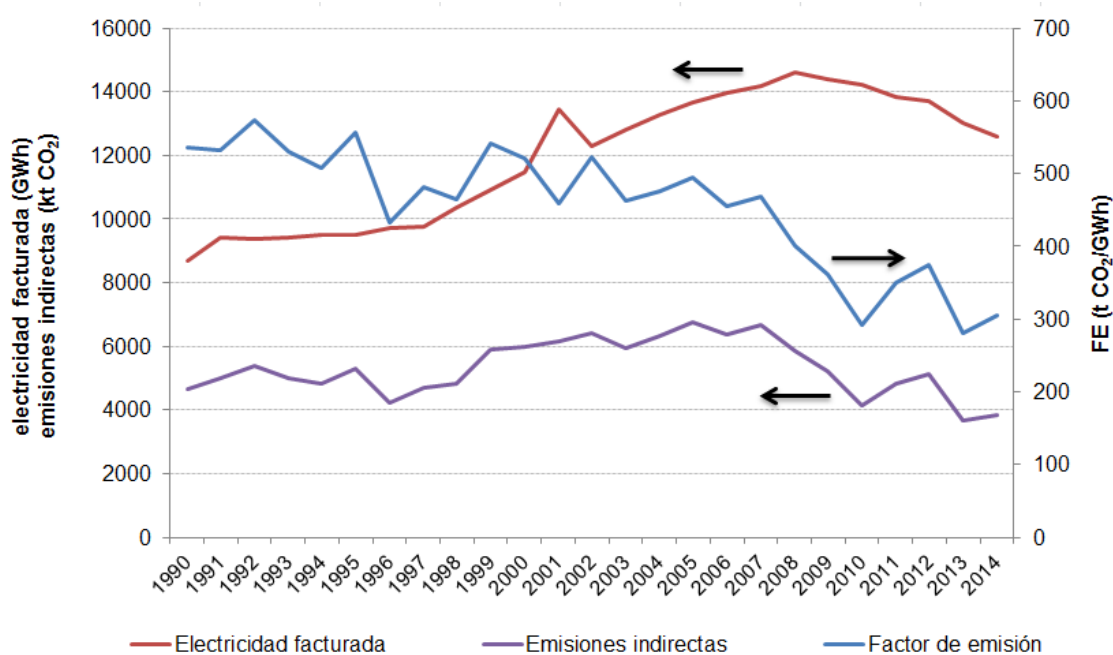
Aunque el transporte por carretera sigue siendo la primera fuente de emisiones de GEI, éstas han disminuido un 35% en el periodo 1999-2014, siendo este descenso más evidente a partir del año 2007. Esta reducción acumulada en el periodo evaluado se debe a factores como la modificación de los recorridos, las velocidades y las distribuciones de los recorridos por tipología de vehículo y tecnología.

Otro dato relevante es la disminución en un 56% de las emisiones de GEI procedentes del tratamiento y eliminación de residuos. Esta reducción se explica por el cese en el consumo de gas natural en el secado térmico de lodos, un descenso de la cantidad de residuos incinerados y la reducción de emisiones de CH₄ procedente de los vertederos gracias a la captación de biogás.

Por último, el sector “otros” es el que ha sufrido el mayor incremento de emisiones directas de GEI entre 1999 y 2014 (233%). Este incremento se ha producido por un importante aumento de las emisiones de compuestos fluorados, especialmente HFC, asociado a una mayor utilización de hidrocarburos halogenados en los equipos de refrigeración, aire acondicionado y extinción de incendios.

En la Figura 19 están representadas las emisiones indirectas de GEI derivadas del consumo eléctrico en el término municipal de Madrid, la energía eléctrica facturada del municipio y el factor de emisión eléctrico a partir de los cuales se obtienen las emisiones. Las emisiones procedentes de la energía eléctrica generada y consumida en las propias instalaciones municipales se han incorporado en el cálculo de las emisiones directas. Las emisiones indirectas en 2014 son un 18% inferiores a las de 1990, a pesar de que el consumo de energía eléctrica aumentó en ese periodo un 44%. Esta evolución se debe a que el factor de emisión eléctrico ha decrecido un 43% en el periodo analizado, como consecuencia de la incorporación de fuentes renovables en la generación de energía eléctrica y el retroceso de fuentes energéticas procedentes de combustibles fósiles como el carbón.

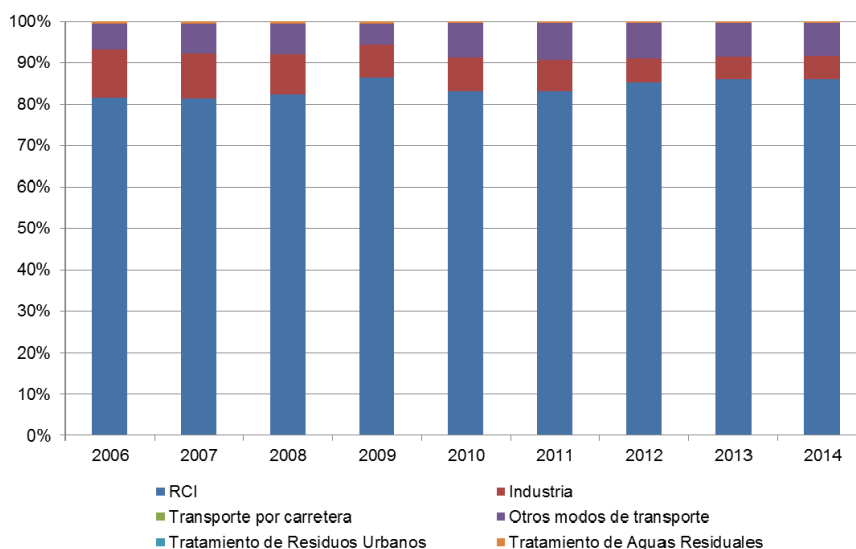
Figura 19. Evolución de las emisiones indirectas, energía eléctrica facturada al municipio y factor de emisión eléctrico.



Fuente: Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del municipio de Madrid. Año 2014.

En la Figura 20 se observa que el sector RCI supone más del 80% del total de las emisiones indirectas mientras que la industria ha pasado de suponer el 12% de las emisiones indirectas en 2006 al 6% en 2014, como consecuencia del descenso en el consumo eléctrico del sector (medidas de ahorro y eficiencia energética y reducción de actividad).

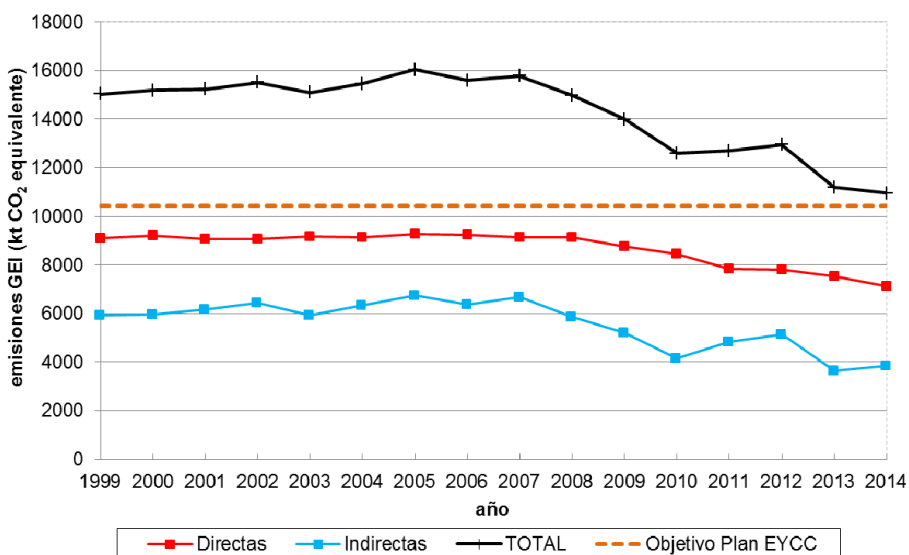
Figura 20. Evolución de la contribución sectorial al total de emisiones indirectas.



Fuente: Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del municipio de Madrid. Año 2014.

En la Figura 21 se muestra la evolución de las emisiones de GEI directas, indirectas y totales en el municipio de Madrid. También se representa en color naranja el objetivo fijado por el Plan de Energía y Cambio Climático de la ciudad de Madrid - Horizonte 2020 (PEYCC). Según dicho Plan, se espera alcanzar una reducción de las emisiones totales de GEI en el año 2020 superior al 35 % respecto a 2005. Se observa que las emisiones de GEI directas son mayores que las indirectas y que en su conjunto se han reducido en un 27% en el periodo 1999-2014, situándose en este año próximas al objetivo del PEYCC para 2020.

Figura 21. Evolución de las emisiones directas e indirectas de GEI en el municipio de Madrid.



Fuente: Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del municipio de Madrid. Año 2014.

En la Tabla 6 están resumidas las emisiones directas e indirectas de GEI y la contribución de cada sector a las mismas. El sector con mayores emisiones totales de GEI en el municipio de Madrid es el RCI (50%) seguido del transporte por carretera (20%). Desde el punto de vista de

las emisiones directas, el transporte por carretera contribuye un 31%, y el sector RCI con un 30%. La gran relevancia del sector RCI en relación a las emisiones totales se explica porque dicho sector lleva asociadas el 86% emisiones indirectas del municipio, mientras que las emisiones indirectas del transporte por carretera son residuales debido a la todavía escasa relevancia de su consumo eléctrico.

Tabla 6. Distribución por sectores de las emisiones directas e indirectas de GEI en Madrid para el año 2014.

Emisiones	RCI	Industria*	Transporte por carretera	Otros modos de transporte	Tratamiento y eliminación de residuos**	Otros***	TOTAL
kt CO ₂ eq							
Directas	2.160	329	2.240	611	619	1.154	7.113
Indirectas	3.298	214	0,1	312	12	0	3.836
TOTALES	5.458	543	2.240	922	630	1.154	10.949
Contribución por sectores (%)							
Directas	30,4	4,6	31,5	8,6	8,7	16,2	100
Indirectas	86,0	5,6	0,0	8,1	0,3	0,0	100
TOTALES	49,9	5,0	20,5	8,4	5,8	10,5	100

(*) Incluye las 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 los sumideros)

Fuente: Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del municipio de Madrid. Año 2014.

Aunque los restantes sectores tienen una contribución menor al total de emisiones es importante resaltar la participación cada vez mayor del sector “otros”, con una contribución del 10%. Este sector engloba las emisiones de “extracción y distribución de combustibles fósiles”, “uso de disolventes y otros productos”, “agricultura” y “naturaleza” (exceptuando las absorciones de dióxido de carbono por parte de los sumideros). Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, la mayoría de sus emisiones (un 91%) se debe a compuestos fluorados (HFC, PFC y SF6). Estas emisiones han crecido de forma muy importante en los últimos años debido al crecimiento en el uso de aparatos de refrigeración. Así, en el futuro, podrían requerir una atención especial desde el punto de vista de la aplicación de medidas municipales dirigidas a la prevención del cambio climático.

3.3.3. Contaminación

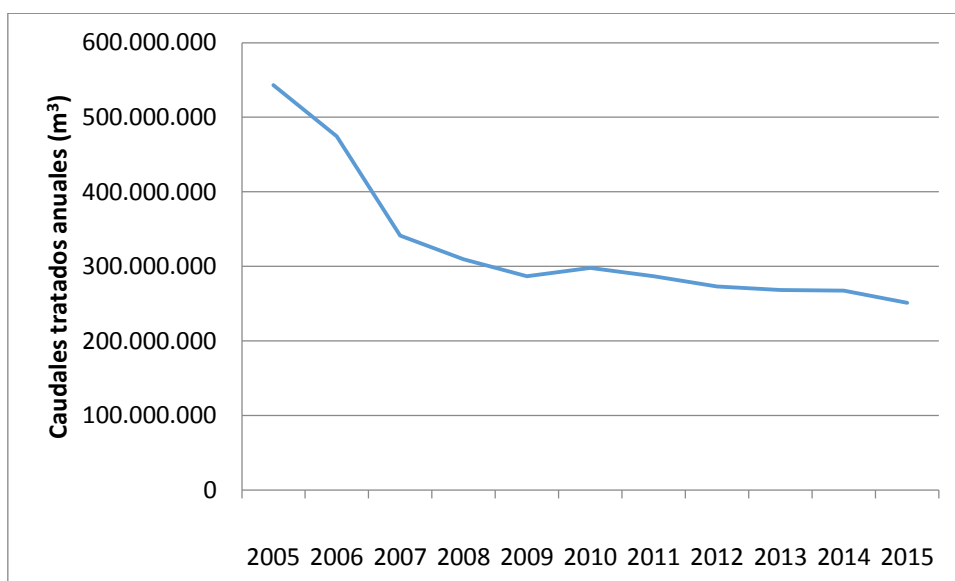
La contaminación generada por las emisiones e insumos producidos por la actividad humana afecta directamente al funcionamiento de los ecosistemas y a su capacidad para generar servicios. En este apartado analizamos la evolución en la producción de aguas residuales y residuos y la calidad del aire del municipio de Madrid.

3.3.3.1. Aguas residuales

Los ecosistemas urbanos generan grandes cantidades de aguas residuales que los ecosistemas acuáticos son incapaces de depurar. Por ello, el tratamiento de aguas residuales es un servicio que todo municipio debe llevar a cabo con el fin de garantizar que las aguas vuelven a los cauces fluviales con unos adecuados parámetros de calidad que garanticen la conservación de los ecosistemas acuáticos.

En la ciudad de Madrid las aguas depuradas en las estaciones depuradoras del municipio ascienden a 251 Hm³, si bien han descendido en más de un 50% en el periodo 2005-2015 (Figura 22). Sin embargo, no disponemos de la información suficiente para conocer a qué se debe esta disminución en el volumen de aguas residuales tratadas en el municipio.

Figura 22. Caudales tratados anuales en las estaciones depuradoras del municipio de Madrid.



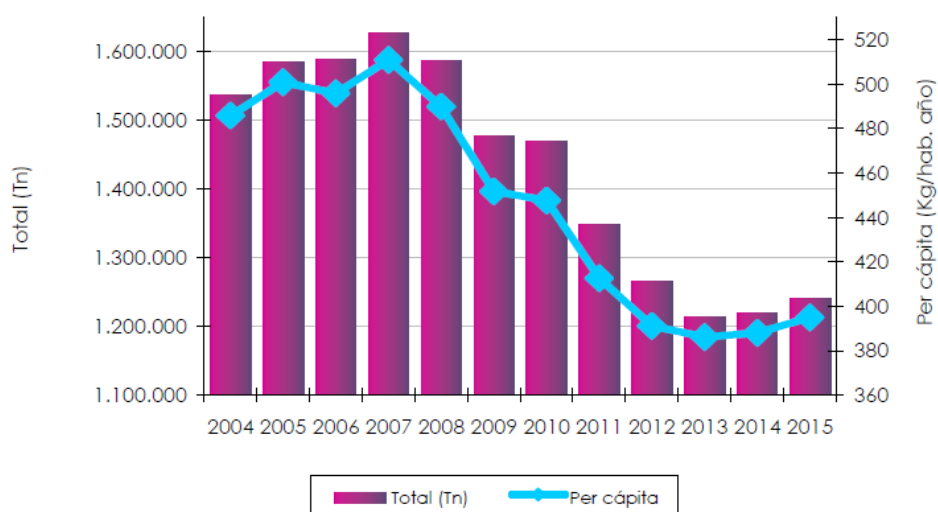
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos suministrados por la Dirección General de Ingeniería Ambiental y Gestión del Agua del Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad del Ayuntamiento de Madrid.

3.3.3.2. Residuos

La producción de residuos urbanos de la ciudad de Madrid ascendió en el año 2015 a 1.240.935 toneladas, lo que supone la generación de 390 kg de residuos por habitante al año, es decir, 1,08 kg por habitante y día.

En la Figura 23 se representa la evolución en el volumen de residuos generados en el municipio de Madrid en el periodo 2004-2015. En 2007 se produce la tasa más alta de producción de residuos, sufriendo un descenso progresivo hasta 2013, año en el que comienza a subir de nuevo, aunque de forma moderada. De 2007 a 2015 el volumen generado de residuos en el municipio de Madrid ha descendido un 23%.

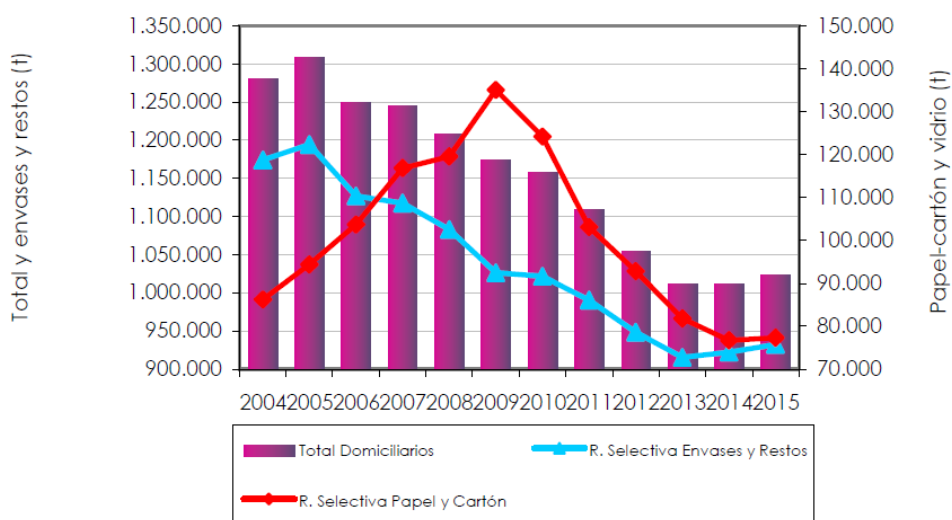
Figura 23. Evolución de la producción total de residuos urbanos de la ciudad de Madrid.



Fuente: Memoria de Actividades del Parque Tecnológico de Valdemingómez 2015.

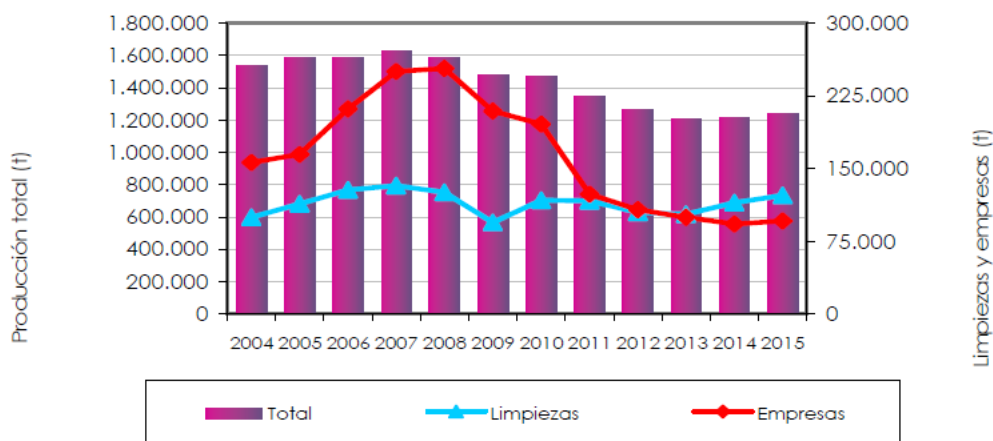
Del total de residuos producidos en la ciudad de Madrid, un 82,43% fue directamente producido por la ciudadanía, mientras que el 17,57% restante fue originado por la actividad económica de la ciudad (hostelería, restauración, mercados...). Con respecto al año 2007, año en el que se registra la mayor producción de residuos domésticos desde 2004, la producción de residuos en los hogares madrileños ha descendido un 22% (Figura 24), mientras que los generados por la actividad económica han descendido un 43,00%. Este descenso es debido en parte, a los residuos de limpieza viaria, que se han reducido desde 2007 en un 7,59% y en parte, a la generación de residuos asimilables a urbanos por las empresas cuya reducción desde el año 2007 ha sido de un 62,13% (Figura 25).

Figura 24. Evolución de la producción de residuos urbanos generados directamente por la ciudadanía.



Fuente: Memoria de Actividades del Parque Tecnológico de Valdemingómez 2015.

Figura 25. Evolución de la producción de residuos urbanos asociados a la actividad económica de la ciudad.



Fuente: Memoria de Actividades del Parque Tecnológico de Valdemingómez 2015.

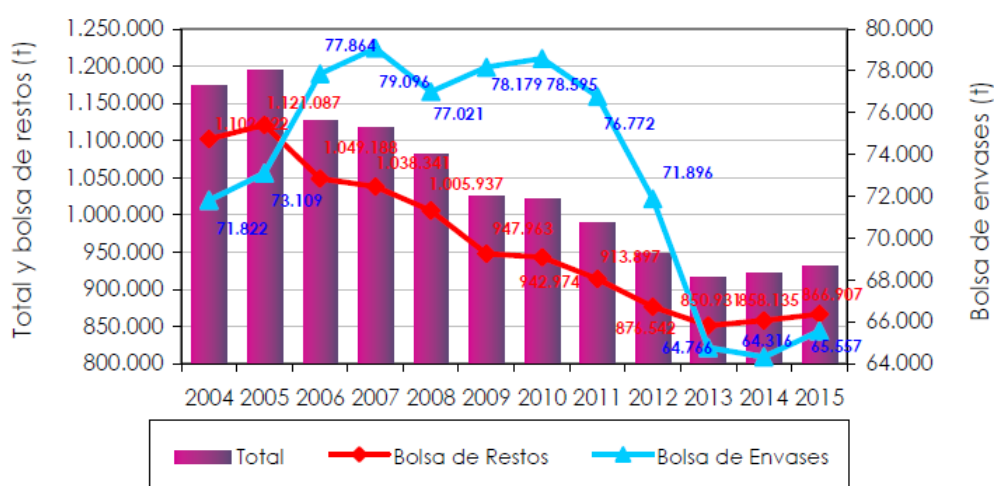
Dentro de los residuos generados directamente por la ciudadanía, los residuos de envases y restos procedentes de la recogida selectiva fueron en 2015 de 932.464 toneladas (Figura 24), que representan el 75% del total de los producidos en la ciudad de Madrid y el 91% de los generados directamente por la ciudadanía. El 85% de los residuos generados en el hogar

correspondió a la bolsa de restos, mientras que el 6% restante correspondió a la bolsa de envases.

Los residuos de papel-cartón y vidrio procedentes de la recogida selectiva constituyeron, respectivamente, el 3,3% y el 4,3% del total de los residuos domésticos generados durante el año 2015. En cuanto a los residuos voluminosos, apenas supusieron el 0,6% de los residuos domiciliarios.

La producción de residuos domiciliarios de recogida selectiva de envases y restos decreció un 21% entre los años 2004 y 2015, registrándose un descenso del 21% en los residuos de bolsa de restos, y del 9% en los de bolsa de envases. Cabe señalar, que mientras que la cantidad de residuos proveniente de la bolsa de restos ha descendido de forma progresiva desde 2004 hasta 2013, no ha ocurrido así con la bolsa de envases, que sufrió un importante crecimiento entre 2004 y 2007, se mantuvo con algunas bajadas y subidas hasta 2010 y, desde 2010 a 2013 sufre una caída bastante importante (Figura 26).

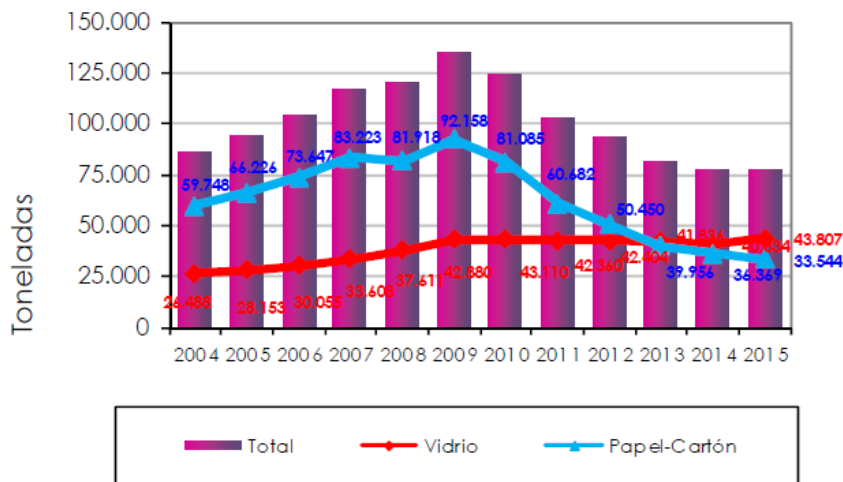
Figura 26. Evolución de la producción de residuos de la recogida selectiva de envases y restos.



Fuente: Memoria de Actividades del Parque Tecnológico de Valdemingómez 2015.

En la Figura 27 podemos observar la evolución de las cantidades recogidas de residuos de papel y cartón y de vidrio procedentes de la recogida selectiva en el periodo 2004-2015. La cantidad de residuos de vidrio depositados en los contenedores ha aumentado en un 65%, mientras que el papel y el cartón ha descendido un 44%. Estas tendencias coinciden con las tasas de producción de residuos, por lo que los datos reflejan una mayor colaboración ciudadana en la separación de residuos.

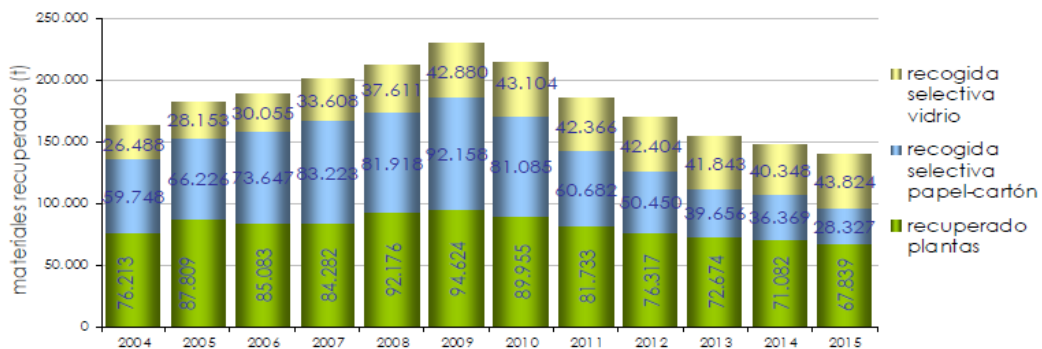
Figura 27. Evolución de la producción de residuos de la recogida selectiva papel-cartón y vidrio.



Fuente: Memoria de Actividades del Parque Tecnológico de Valdemingómez 2015.

En 2015, se generaron, en total, 755.303 t de rechazos, de los que un 34% se trató en planta de valorización energética y el 66% restante se depositó en vertedero. Por otra parte, el total de materiales reciclables recuperados de los residuos domésticos de la ciudad de Madrid en 2015 ascendió a 139.989 t. El 52% de esta cantidad correspondió al papel y cartón y el vidrio recuperados a través de los contenedores situados en la vía pública, mientras que el 48% restante lo integraron los materiales seleccionados y clasificados en las instalaciones de tratamiento del Parque Tecnológico de Valdemingómez (Figura 28). La disminución en la cantidad de materiales recuperados en planta de las dos fracciones, tiene su origen fundamentalmente en la disminución de las toneladas tratadas de la fracción envases, un 0,35% menos que en 2014.

Figura 28. Evolución de los materiales reciclables recuperados en plantas y recogida selectiva de aportación durante el periodo 2004-2015.



Fuente: Memoria de Actividades del Parque Tecnológico de Valdemingómez 2015.

Si analizamos el periodo 2004-2015, a pesar de haber aumentado la población de la ciudad de Madrid, la cantidad de residuos recibidos en las instalaciones del Parque Tecnológico de Valdemingómez ha disminuido, disminuyendo a su vez la cantidad de materiales reciclables recuperados en la ciudad de Madrid en un 5% (Figura 28). Al igual que ha pasado con los materiales reciclables recuperados en la ciudad, el papel y cartón y el vidrio depositados por la ciudadanía en los contenedores viarios registró también una disminución de un 16%, igual que los materiales recuperados en el Parque Tecnológico de Valdemingómez, que disminuyeron un 11%, situándose la recuperación de materiales en niveles por debajo de los del año 2004,

fundamentalmente debido a la disminución de las entradas externas de residuos. Sin embargo, comparando las toneladas generadas directamente por la ciudadanía en la bolsa de restos y envases, con las toneladas de materiales recuperados en el Parque Tecnológico en el año 2004 y en el año 2015, se observa que la eficiencia en la recuperación de materiales ha aumentado en un 13%.

A estas cifras hay que añadir la de compost producido por fermentación aerobia de la materia orgánica separada de los citados residuos y vendido, que alcanzó las 10.966 t. Hay que señalar que el Ayuntamiento dispone de otra instalación de compostaje, la planta de Migas Calientes, en la que en 2013 se trataron 3.477 t de materia orgánica procedente de los parques y jardines de Madrid, con la que se obtuvieron 1.963 toneladas de compost, que fue utilizado por los propios parques. Las cantidades de residuos orgánicos que los parques y jardines derivan a la planta de Migas Calientes son variables. A modo de ejemplo, Madrid Río produce unas 1000 t de residuos orgánicos anuales, de las cuales sólo 23 se lleva a Migas Calientes y el resto son tratadas en Valdemingómez.

3.3.3.3. Calidad del aire

Los ecosistemas, en especial la vegetación, las masas de agua y el suelo, nos proveen de un servicio de regulación de la calidad del aire, absorbiendo y eliminando contaminantes atmosféricos perjudiciales para la salud humana. En una ciudad como Madrid, donde los niveles de contaminación exceden los límites impuestos por la legislación y recomendados por organizaciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), este servicio cobra gran importancia. Las zonas verdes del municipio cobran gran relevancia para reducir los contaminantes atmosféricos, pero son incapaces de asimilar toda la contaminación que se genera en el municipio, siendo necesario llevar a cabo políticas públicas que reduzcan en gran magnitud las emisiones de gases contaminantes.

En la Tabla 7 se muestra la evolución por tipo de contaminante atmosférico en el periodo 1999-2014. Se observa que, con la excepción de los compuestos fluorados (HFC, PFC y SF₆), las emisiones disminuyen. Especialmente el metano (CH₄), el monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), el dióxido de azufre (SO₂) y las partículas en suspensión inferiores a 2,5 micras (PM_{2,5}), que alcanzan porcentajes de reducción del 67%, 89%, 56%, 76% y 58%, respectivamente.

Tabla 7. Emisiones totales del municipio de Madrid por contaminante.

Contaminante	Ud.	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
CH ₄	t	47.573	47.723	45.011	42.196	37.006	19.649	20.505	20.194
CO	t	101.058	86.008	71.338	63.031	51.917	46.926	38.981	33.813
CO ₂ (*)	kt	7.492	7.515	7.375	7.401	7.549	7.866	7.902	7.791
COVNM	t	48.985	46.424	42.801	38.823	38.338	36.755	34.677	32.166
HFC-125	kg	17.080	24.817	33.005	41.175	49.862	58.212	66.868	73.971
HFC-134a	kg	38.257	50.477	60.793	67.476	76.508	90.870	101.096	108.636
HFC-143a	kg	8.471	12.307	16.366	20.416	24.702	28.809	33.092	36.592
HFC-152a	kg	12	17	22	28	34	40	45	50
HFC-227ea	kg	302	442	610	797	1.026	1.310	1.648	1.912
HFC-23	kg	571	1.195	1.868	2.457	3.176	3.675	4.004	4.130
HFC-236fa	kg	5	14	24	34	43	52	60	66
HFC-32	kg	5.356	7.780	10.347	12.907	15.617	18.213	20.921	23.133
N ₂ O	t	845	866	812	802	811	783	822	893
NH ₃	t	1.107	1.286	1.418	1.424	1.735	1.681	1.650	1.868
NO _x	t	27.651	27.401	26.287	26.155	25.339	26.249	26.060	25.533
PFC-410	kg	10	12	13	15	16	18	19	18
PM ₁₀	t	2.070	1.991	1.835	1.776	1.707	1.719	1.658	1.655
PM _{2,5}	t	1.872	1.793	1.637	1.571	1.506	1.514	1.452	1.454
PST	t	2.318	2.242	2.084	2.035	1.961	1.978	1.919	1.907
SF ₆	kg	282	290	303	321	347	387	435	470
SO ₂	t	3.827	3.230	2.704	2.356	2.260	2.198	1.739	1.888
Contaminante	Ud.	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
CH ₄	t	19.034	18.953	19.060	19.296	18.344	17.943	16.816	15.764
CO	t	29.429	25.677	21.053	18.710	16.099	12.609	12.114	11.419
CO ₂ (*)	kt	7.654	7.478	7.063	6.614	5.998	6.002	5.820	5.490
COVNM	t	30.702	28.205	25.415	24.563	23.480	22.726	21.833	21.626
HFC-125	kg	80.942	105.033	111.481	126.080	134.171	135.595	128.287	121.002
HFC-134a	kg	117.507	150.359	158.531	175.774	184.000	184.597	174.616	164.829
HFC-143a	kg	40.039	51.979	55.172	62.411	66.426	67.133	63.509	59.905
HFC-152a	kg	55	71	76	86	91	92	87	82
HFC-227ea	kg	2.351	2.786	3.192	3.563	3.910	4.310	4.719	4.722
HFC-23	kg	4.468	4.802	5.006	5.056	5.057	5.004	4.911	4.766
HFC-236fa	kg	72	80	85	90	95	99	104	107
HFC-32	kg	25.312	32.861	34.880	39.456	41.995	42.442	40.150	37.872
N ₂ O	t	872	867	827	812	771	670	608	594
NH ₃	t	1.738	1.718	1.603	1.649	1.576	1.018	770	689
NO _x	t	23.504	21.952	20.027	18.278	16.343	15.430	14.553	13.644
PFC-410	kg	19	20	21	22	23	23	24	23
PM ₁₀	t	1.509	1.391	1.291	1.157	1.043	982	952	934
PM _{2,5}	t	1.319	1.207	1.115	980	873	818	796	777
PST	t	1.747	1.620	1.512	1.375	1.251	1.181	1.144	1.126
SF ₆	kg	508	539	563	592	581	590	586	578
SO ₂	t	1.783	1.515	1.323	1.200	1.130	994	953	930

(*) No se incluyen las absorciones de CO₂ de la naturaleza (grupo SNAP 11)

Fuente: Inventario de emisiones contaminantes a la atmósfera en el municipio de Madrid 2014.

En lo relativo a los compuestos fluorados, como ya comentábamos en el apartado 3.3.2. Cambio climático de este mismo capítulo, se observa un aumento muy importante de sus emisiones como resultado de la utilización cada vez mayor de este tipo de compuestos en equipos de refrigeración y aire acondicionado, extintores de incendios y equipos eléctricos.

Por otra parte, entre 1999 y 2011, las emisiones de amoníaco (NH₃) aumentaron un 42% como consecuencia del crecimiento de los residuos tratados en procesos de compostaje. Sin embargo, entre 2011 y 2014 se observa un significativo descenso de las mismas (56%) que, en

parte, se explica porque a partir de 2011 gran parte de los residuos que anteriormente se trataban mediante compostaje se llevan a biometanización en el Parque Tecnológico de Valdemingómez.

Sin embargo, aunque la evolución de los niveles de contaminación durante este periodo haya sido en general positiva, todavía la contaminación atmosférica en el municipio sigue siendo uno de los principales problemas ambientales y de salud pública que merece especial atención.

En esta sección hacemos un repaso a la evolución de los contaminantes atmosféricos más problemáticos en los últimos años y los niveles de contaminación actuales, exceptuando los gases de efecto invernadero que ya hemos analizado en el apartado 3.3.2.4. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) Concretamente analizamos los óxidos de nitrógeno (NO_x), el dióxido de azufre (SO_2), las partículas en suspensión (PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$) y el ozono troposférico (O_3), que no aparece en la Tabla 7 por ser un contaminante de origen secundario que se genera en la atmósfera mediante una serie de complejas reacciones fotoquímicas en las que participan otros contaminantes como el NO_2 y los compuestos orgánicos volátiles (COV). Como veremos más adelante el intenso tráfico de la ciudad de Madrid es el principal precursor de todos estos contaminantes.

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

El monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2) son los dos óxidos de nitrógeno que analizamos. Estos dos contaminantes están íntimamente relacionados ya que aunque ambos provienen de los motores de combustión de los automóviles, especialmente los diésel, el segundo también se forma a partir de la oxidación del NO presente en el aire. Por ello, los NO_x se miden en masa de NO_2 y en este informe hablaremos de NO_x y NO_2 indistintamente.

Los NO_x son en general muy reactivos y al inhalarse afectan al tracto respiratorio. El NO_2 afecta a los tramos más profundos de los pulmones, inhibiendo algunas funciones de los mismos, como la respuesta inmunológica, disminuyendo la resistencia a las infecciones. Los niños y asmáticos son los más afectados por exposición a concentraciones agudas de NO_2 . Asimismo, la exposición a largo plazo a bajas concentraciones de NO_2 se ha asociado con incrementos en enfermedades respiratorias crónicas y la disminución de la capacidad funcional pulmonar.

En la Tabla 8 se muestra la evolución de las emisiones de NO_x por sector en el periodo 1999-2014. Se observa que las emisiones de este contaminante han disminuido un 51% en este periodo, principalmente debido a la disminución de las emisiones del transporte rodado. Aunque sigue siendo éste el sector que mayormente contribuye a las emisiones de este contaminante, seguido de otros medios de transporte, con una participación del 51% y del 22% respectivamente en 2014.

Tabla 8. Emisiones de NO_x por sector (t).

AÑO	RCI	Industria	Transporte rodado	Otros modos de transporte	Tratamiento de residuos	Otros	TOTAL
Emisiones							
1999	2.874	1.925	19.226	3.015	592	20	27.651
2000	2.863	1.820	18.740	3.353	606	19	27.401
2001	2.810	1.632	17.752	3.475	600	18	26.287
2002	2.659	1.578	17.612	3.293	995	18	26.155
2003	2.894	1.495	16.535	3.142	1.255	19	25.339
2004	3.042	1.071	17.221	3.325	1.572	18	26.249
2005	3.067	1.049	16.954	3.429	1.543	18	26.060
2006	2.909	1.088	15.319	4.991	1.208	18	25.533
2007	2.970	1.120	13.614	4.792	992	17	23.504
2008	2.959	1.141	12.388	4.336	1.110	17	21.952
2009	2.838	947	11.279	3.908	1.038	17	20.027
2010	2.622	1.174	9.887	3.450	1.129	17	18.278
2011	2.403	1.048	8.344	3.425	1.106	18	16.343
2012	2.697	945	7.380	3.296	1.095	18	15.430
2013	2.723	954	7.093	2.913	853	17	14.553
2014	2.451	940	7.012	2.933	290	18	13.644
Contribución porcentual al total (%)							
1999	10,4	7,0	69,5	10,9	2,1	0,1	100
2000	10,4	6,6	68,4	12,2	2,2	0,1	100
2001	10,7	6,2	67,5	13,2	2,3	0,1	100
2002	10,2	6,0	67,3	12,6	3,8	0,1	100
2003	11,4	5,9	65,3	12,4	5,0	0,1	100
2004	11,6	4,1	65,6	12,7	6,0	0,1	100
2005	11,8	4,0	65,1	13,2	5,9	0,1	100
2006	11,4	4,3	60,0	19,5	4,7	0,1	100
2007	12,6	4,8	57,9	20,4	4,2	0,1	100
2008	13,5	5,2	56,4	19,8	5,1	0,1	100
2009	14,2	4,7	56,3	19,5	5,2	0,1	100
2010	14,3	6,4	54,1	18,9	6,2	0,1	100
2011	14,7	6,4	51,1	21,0	6,8	0,1	100
2012	17,5	6,1	47,8	21,4	7,1	0,1	100
2013	18,7	6,6	48,7	20,0	5,9	0,1	100
2014	18,0	6,9	51,4	21,5	2,1	0,1	100

Fuente: Inventario de emisiones contaminantes a la atmósfera en el municipio de Madrid 2014.

Sin embargo, aunque este contaminante haya sufrido un importante descenso, los niveles de NO₂ siguen superando los límites regulados por el Real Decreto 102/2011, relativo a la mejora de la calidad del aire, en el municipio de Madrid. Los valores regulados por este Real Decreto son:

- Valor límite horario: 200 µg/m³ (no debe superarse en más de 18 ocasiones).
- Valor límite anual: la media anual no debe superar los 40 µg/m³.

En la Tabla 9 se muestran los niveles de NO₂ medidos por las estaciones de la red de medición de la calidad del aire del municipio de Madrid. Las estaciones de medición están clasificadas según su localización: estaciones de *tráfico*, son aquellas situadas próximas al viario; estaciones de *fondo urbano*, más alejadas del tráfico, generalmente en parques; y estaciones *suburbanas*, situadas fuera del núcleo urbano consolidado. En fondo negro se muestran los valores que han sobrepasado los niveles marcados por la legislación. Como se puede observar, en el 54% de las estaciones se superó en 2015 el valor límite y en el 33% se superó el valor límite horario.

Tabla 9. Superaciones de valores límite de NO₂ en el municipio de Madrid en 2015.

ESTACIÓN	TIPO	Media Anual (µg/m ³)	Nº de superaciones del valor límite horario (200 µg/m ³)
Fdez. Ladreda	Tráfico	58	65
Esc. Aguirre	Tráfico	58	39
Pza. de España	Tráfico	51	12
Pza. del Carmen	FU	50	0
Pza. Castilla	Tráfico	47	6
Ramón y Cajal	Tráfico	46	65
Villaverde	FU	46	64
Urb. Embajada	FU	46	6
Barrio del Pilar	Tráfico	45	95
Cuatro Caminos	Tráfico	45	29
Ens. Vallecas	FU	44	71
Arturo Soria	FU	43	18
Moratalaz	Tráfico	41	6
Farolillo	FU	40	6
Vallecas	FU	40	4
Mendez Álvaro	FU	39	10
Castellana	Tráfico	39	4
Tres Olivos	FU	38	0
Sancharro	FU	35	48
Barajas Pueblo	FU	35	3
Retiro	FU	34	2
Casa Campo	Sub	24	0
Juan Carlos I	Sub	23	1
El Pardo	Sub	18	0
Media RED		41	0

FU: fondo urbano; Sub: estaciones suburbanas. Se indican con fondo negro los registros que superan valores límite legales.

Fuente: La calidad del aire en la ciudad de Madrid en 2015. Ecologistas en Acción, 2016.

Dióxido de azufre (SO₂)

El SO₂ es un gas incoloro, no inflamable con un olor fuerte e irritante en altas concentraciones. Se origina por la combustión de carburantes con cierto contenido en azufre, como el carbón y el fuel, y la fundición de minerales ricos en sulfatos. Se genera principalmente por la industria (incluidas las termoeléctricas), seguido de los vehículos a motor.

En la Tabla 10 se muestra la evolución de las emisiones de este contaminante por sector en el periodo 1999-2014. Los datos son positivos ya que las emisiones se han reducido en un 76% en este periodo, debido principalmente a la reducción del contenido en azufre de los combustibles utilizados y el menor consumo de combustibles con alto porcentaje de azufre en el transporte rodado y el sector RCI. Sin embargo, este último sigue teniendo una tasa de emisiones significativa, contribuyendo casi al 80% de las emisiones totales en 2014.

Tabla 10. Emisiones de SO₂ por sector (t).

ANO	RCI	Industria	Transporte rodado	Otros modos de transporte	Tratamiento de residuos	Otros	TOTAL
Emisiones							
1999	1.998	487	1.136	201	4	0	3.827
2000	1.804	433	757	224	12	0	3.230
2001	1.568	330	562	238	6	0	2.704
2002	1.349	290	477	237	3	0	2.356
2003	1.275	262	476	244	3	0	2.260
2004	1.226	210	509	252	1	0	2.198
2005	1.182	208	89	260	1	0	1.739
2006	1.144	212	86	445	0	0	1.888
2007	1.082	192	80	430	0	0	1.783
2008	998	135	77	305	1	0	1.515
2009	928	100	15	280	1	0	1.323
2010	846	92	17	244	1	0	1.200
2011	797	74	15	243	1	0	1.130
2012	782	28	14	169	1	0	994
2013	763	24	14	152	1	0	953
2014	739	21	14	155	1	0	930
Contribución porcentual al total (%)							
1999	52,2	12,7	29,7	5,3	0,1	0,0	100
2000	55,9	13,4	23,4	6,9	0,4	0,0	100
2001	58,0	12,2	20,8	8,8	0,2	0,0	100
2002	57,3	12,3	20,2	10,1	0,1	0,0	100
2003	56,4	11,6	21,1	10,8	0,1	0,0	100
2004	55,8	9,6	23,2	11,5	0,0	0,0	100
2005	67,9	11,9	5,1	14,9	0,1	0,0	100
2006	60,6	11,2	4,5	23,6	0,0	0,0	100
2007	60,7	10,7	4,5	24,1	0,0	0,0	100
2008	65,8	8,9	5,1	20,1	0,1	0,0	100
2009	70,1	7,6	1,1	21,1	0,1	0,0	100
2010	70,5	7,7	1,4	20,4	0,1	0,0	100
2011	70,6	6,5	1,3	21,5	0,1	0,0	100
2012	78,6	2,8	1,4	17,0	0,1	0,0	100
2013	80,0	2,5	1,5	15,9	0,1	0,0	100
2014	79,5	2,3	1,5	16,6	0,1	0,0	100

Fuente: Inventario de emisiones contaminantes a la atmósfera en el municipio de Madrid 2014.

Los valores de SO₂ registrados por las estaciones de la red de medición de la calidad del aire de Madrid durante los años 2010, 2011 y 2012 se sitúan por debajo de los límites regulados por el Real Decreto 102/2011, por lo que los datos sobre este contaminante en su conjunto muestran una evolución positiva en el municipio madrileño.

Ozono troposférico (O₃)

El ozono troposférico es un contaminante secundario que se forma mediante una compleja serie de reacciones fotoquímicas en las que participan contaminantes como el NO₂ y los COV, y la radiación solar. Se forma por tanto cuando hay abundante radiación solar, por lo que los episodios más agudos se dan en las tardes de verano. Los precursores del O₃ se emiten en las zonas con más tráfico, como la capital y su área metropolitana, pero los niveles más altos se registran habitualmente en zonas periurbanas y rurales más alejadas. Esto se debe entre otras razones a que el ozono se ve con frecuencia implicado en fenómenos de transporte atmosférico a grandes distancias, de manera que los niveles de contaminación por O₃ de las distintas zonas se ven influenciados por el régimen de vientos dominante cada año.

Los efectos adversos del O₃ sobre la salud tienen que ver con su potente carácter oxidante. Diversos estudios relacionan el ozono con inflamaciones de pulmón, síntomas respiratorios e incrementos de la morbilidad y mortalidad. Un importante factor que condiciona los efectos de la exposición al ozono sobre los pulmones es la tasa de ventilación. Al aumentar el ritmo de la respiración aumenta el ozono que entra en los pulmones, por lo que sus efectos nocivos se incrementan con el ejercicio físico.

Según el Real Decreto 102/2011, el valor de O₃ que no debe superarse en periodos de ocho horas (valor máximo diario de las medias móviles octohorarias) más de 25 días al año de promedio en un periodo de tres años es de 120 µg/m³. Sin embargo, la OMS establece un límite más estricto de 100 µg/m³ para periodos de ocho horas. Por otro lado, la legislación también establece un umbral de información a la población (180 µg/m³ en una hora), así como un umbral de alerta (240 µg/m³ en una hora).

En la Tabla 11 se muestran el número de superaciones de los valores límite legales y recomendados por la OMS medidos en las estaciones de la red de medición de calidad del aire en el municipio de Madrid en 2015. Los valores son realmente preocupantes ya que en todas las estaciones se sobrepasa el valor límite recomendado por la OMS y, exceptuando las estaciones de las Escuelas Aguirre y Fernández Ladreda, el valor límite marcado por el Real Decreto de calidad del aire. Las estaciones con mayor número de registros de superaciones de estos valores son aquellas situadas en barrios y zonas periféricas del municipio como El Pardo, el Ensanche de Vallecas, la Casa de Campo, Barajas Pueblo o Tres Olivos.

Tabla 11. Superaciones de valores límite legales y valores recomendados por la OMS para el O₃ en 2015.

ESTACIÓN	TIPO	Nº superac. valor recom. OMS octohorario (100 µg/m ³)	Nº superac valor límite legal octohorario (120 µg/m ³)	Nº superac Umbral de información horario (180 µg/m ³)
El Pardo	Sub	141	65	23
Ens. Vallecas	FU	111	50	9
Casa Campo	Sub	103	46	16
Barajas Pueblo	FU	89	42	18
Tres Olivos	FU	93	40	16
Pza. del Carmen	FU	79	34	5
Barrio del Pilar	Tráfico	84	32	13
Farolillo	FU	78	32	11
Juan Carlos I	Sub	99	32	5
Retiro	FU	80	31	9
Arturo Soria	FU	73	28	5
Villaverde	FU	78	26	7
Esc. Aguirre	Tráfico	38	13	3
Fdez. Ladreda	Tráfico	48	12	2
Media RED		78	29	8

FU: estaciones de fondo urbano; Sub: estaciones suburbanas.
Se indican con fondo negro los registros que igualan o superan valores límite legales y con fondo gris los registros que superan valores recomendados por la OMS.

Fuente: La calidad del aire en la ciudad de Madrid en 2015. Ecologistas en Acción, 2016.

Partículas en suspensión (PM₁₀ y PM_{2,5})

El término partículas en suspensión abarca un amplio espectro de sustancias orgánicas o inorgánicas, dispersas en el aire, procedentes de fuentes naturales y artificiales. En relación con sus efectos sobre la salud se suelen distinguir: las PM₁₀ (partículas menores de 10 µm, que pueden penetrar hasta las vías respiratorias bajas), las PM_{2,5} (partículas menores de 2,5 µm, que pueden penetrar hasta las zonas de intercambio de gases del pulmón), y las partículas ultrafinas, menores de 100 nm (nanómetros), que pueden llegar a pasar al torrente sanguíneo

La contaminación por partículas está relacionada con graves efectos sobre la salud de las personas como incrementos en la mortalidad total, mortalidad por enfermedades respiratorias

y cardiovasculares, mortalidad por cáncer de pulmón e ingresos hospitalarios por afecciones respiratorias y cardiovasculares.

En la Tabla 12 se muestra la evolución de las PM_{2,5} para el periodo 1999-2014 por sector. Se observa que las emisiones totales de PM_{2,5} han descendido en un 58% principalmente debido al descenso de emisiones del transporte rodado, principal foco de emisiones de este contaminante, con una participación del 55% sobre el total en 2014, seguido del sector RCI con una participación del 36%. Algo similar ocurre con las PM₁₀, que han sufrido una reducción del 55% en ese periodo (Tabla 13) y para las que el tráfico rodado llega a contribuir a sus emisiones en un 61% en 2014.

Tabla 12. Emisiones de PM_{2,5} por sector (t).

ANO	RCI	Industria	Transporte rodado	Otros modos de transporte	Tratamiento de residuos	Otros	TOTAL
Emisiones							
1999	597	67	1.133	49	26	1	1.872
2000	534	63	1.111	51	33	1	1.793
2001	465	54	1.054	52	11	1	1.637
2002	407	52	1.050	51	10	1	1.571
2003	392	47	997	50	20	1	1.506
2004	379	33	1.011	50	41	1	1.514
2005	369	32	969	49	33	1	1.452
2006	358	37	892	141	25	1	1.454
2007	346	36	801	110	25	1	1.319
2008	325	29	744	87	22	1	1.207
2009	313	22	688	72	20	1	1.115
2010	304	20	590	46	21	1	980
2011	293	16	496	45	22	1	873
2012	294	7	450	51	16	1	818
2013	290	5	433	42	26	1	796
2014	283	5	428	38	23	1	777
Contribución porcentual al total (%)							
1999	31,9	3,6	60,5	2,6	1,4	0,0	100
2000	29,8	3,5	62,0	2,9	1,8	0,0	100
2001	28,4	3,3	64,4	3,2	0,7	0,0	100
2002	25,9	3,3	66,9	3,2	0,6	0,0	100
2003	26,0	3,1	66,2	3,3	1,3	0,1	100
2004	25,0	2,2	66,8	3,3	2,7	0,0	100
2005	25,4	2,2	66,7	3,4	2,2	0,0	100
2006	24,6	2,6	61,3	9,7	1,7	0,0	100
2007	26,2	2,8	60,7	8,4	1,9	0,1	100
2008	27,0	2,4	61,6	7,2	1,8	0,1	100
2009	28,0	2,0	61,7	6,5	1,8	0,1	100
2010	31,0	2,0	60,1	4,7	2,1	0,1	100
2011	33,6	1,8	56,9	5,1	2,5	0,1	100
2012	35,9	0,9	55,0	6,2	2,0	0,1	100
2013	36,4	0,6	54,4	5,2	3,3	0,1	100
2014	36,4	0,6	55,1	4,9	2,9	0,1	100

Fuente: Inventario de emisiones contaminantes a la atmósfera en el municipio de Madrid 2014.

Tabla 13. Emisiones de PM₁₀ por sector (t).

AÑO	RCI	Industria	Transporte rodado	Otros modos de transporte	Tratamiento de residuos	Otros	TOTAL
Emisiones							
1999	622	72	1.297	49	26	4	2.070
2000	557	68	1.278	52	33	4	1.991
2001	485	58	1.225	52	11	4	1.835
2002	425	56	1.230	51	10	4	1.776
2003	407	51	1.175	50	20	5	1.707
2004	394	35	1.196	50	41	4	1.719
2005	383	34	1.155	49	33	4	1.658
2006	372	39	1.073	141	25	4	1.655
2007	359	38	973	110	25	4	1.509
2008	337	30	910	87	22	4	1.391
2009	323	23	849	72	20	4	1.291
2010	313	21	752	46	21	4	1.157
2011	302	17	653	45	22	4	1.043
2012	303	7	601	51	16	4	982
2013	299	5	577	42	26	4	952
2014	291	5	572	38	23	4	934
Contribución porcentual al total (%)							
1999	30,1	3,5	62,7	2,4	1,3	0,2	100
2000	28,0	3,4	64,2	2,6	1,7	0,2	100
2001	26,4	3,2	66,7	2,8	0,6	0,2	100
2002	23,9	3,1	69,3	2,9	0,6	0,2	100
2003	23,9	3,0	68,8	2,9	1,2	0,3	100
2004	22,9	2,0	69,5	2,9	2,4	0,2	100
2005	23,1	2,0	69,7	3,0	2,0	0,2	100
2006	22,5	2,4	64,9	8,5	1,5	0,2	100
2007	23,8	2,5	64,5	7,3	1,6	0,3	100
2008	24,2	2,2	65,5	6,2	1,6	0,3	100
2009	25,0	1,8	65,8	5,6	1,5	0,3	100
2010	27,1	1,8	65,0	4,0	1,8	0,4	100
2011	29,0	1,6	62,6	4,3	2,1	0,4	100
2012	30,8	0,7	61,2	5,2	1,7	0,4	100
2013	31,4	0,5	60,5	4,4	2,8	0,4	100
2014	31,2	0,5	61,3	4,1	2,4	0,4	100

Fuente: Inventario de emisiones contaminantes a la atmósfera en el municipio de Madrid 2014.

Los valores regulados por el Real Decreto de calidad del aire para las PM₁₀ son un valor límite diario de 50 µg/m³, que no podrá superarse en más de 35 ocasiones al año, y valor límite de concentración media anual de 40 µg/m³. Sin embargo, la OMS establece un valor medio anual más restrictivo de 20 µg/m³, para una adecuada protección de la salud humana. En cuanto a las PM_{2,5} la legislación marca como valor límite anual 25 µg/m³ mientras que la OMS recomienda que no se sobrepasen los 10 µg/m³.

En la Tabla 14 se muestran los valores medios anuales medidos en las estaciones de la red de medición de la calidad del aire para PM₁₀ y PM_{2,5}. Se observa que en ninguna de las estaciones de medición se han sobrepasado los límites legales establecidos para ambos contaminantes, pero sí se han superado los recomendados por la OMS para PM₁₀ en 9 de las 12 estaciones y para PM_{2,5} en todas las estaciones.

Tabla 14: Superaciones de los valores recomendados por la OMS para PM₁₀ y PM_{2,5} en 2015.

Estación	Tipo	PM ₁₀	PM _{2,5}
		Media anual (µg/m ³)	Media anual (µg/m ³)
Esc. Aguirre	Tráfico	25	14
Moratalaz	Tráfico	23	
Farolillo	FU	22	
Mendez Álvaro	FU	21	12
Cuatro Caminos	Tráfico	21	12
Urb. Embajada	FU	21	
Vallecas	FU	21	
Pza. Castilla	Tráfico	20	10
Sanchinarro	FU	20	
Castellana	Tráfico	19	11
Casa Campo	Sub	19	10
Tres Olivos	FU	19	
Media RED		21	12

FU: estaciones de fondo urbano; Sub: estaciones suburbanas.
Se indican con fondo gris los registros que igualan o superan los valores recomendados por la OMS.

Fuente: La calidad del aire en la ciudad de Madrid en 2015. [Ecologistas en Acción, 2016.](#)

3.3.3.4. Ruido

El ruido, además de afectar a la capacidad auditiva, tiene otros efectos diversos sobre la salud de las personas, tales como molestias de diversa índole, alteraciones del sueño, estrés fisiológico y problemas cognitivos. La vegetación arbórea y arbustiva disminuyen los niveles de ruido en las localizaciones donde se emplazan, por lo que es importante conocer cuáles son las fuentes principales de ruido en el municipio de Madrid y su distribución espacial.

El principal foco de ruido en el municipio de Madrid lo constituye el tráfico rodado. Por ello, son las grandes vías de comunicación con gran afluencia de vehículos donde se producen los mayores niveles de ruido (Figura 29), siendo la población cercana a las mismas las más perjudicadas.

Figura 29. Mapa de ruido del municipio de Madrid. Nivel continuo equivalente diurno.



*Los colores morado y rojo indican los mayores niveles de ruido mientras que el color verde representa los niveles más bajos. En color azul se muestran las edificaciones.

Fuente: Mapa Estratégico de Ruido de Madrid 2011.

En la Tabla 15 se muestra la variación de la población expuesta a niveles superiores de ruido a los marcados por los objetivos de calidad acústica del Real Decreto 1367/2007 entre 2006 y 2011. El porcentaje de población expuesta a niveles superiores se ha reducido en este periodo en 1,6 puntos en el periodo diurno, en 2,9 puntos durante el periodo vespertino y en 5,3 puntos durante el periodo nocturno. Aunque los porcentajes no son altos, cabe señalar que durante el periodo nocturno es cuando mayor proporción de personas (14,9% en 2011) sufren niveles superiores a los marcados por los objetivos.

Tabla 15. Variación de la población expuesta a niveles de ruido por encima de los Objetivos de Calidad Acústica del Real Decreto 1367/2007.

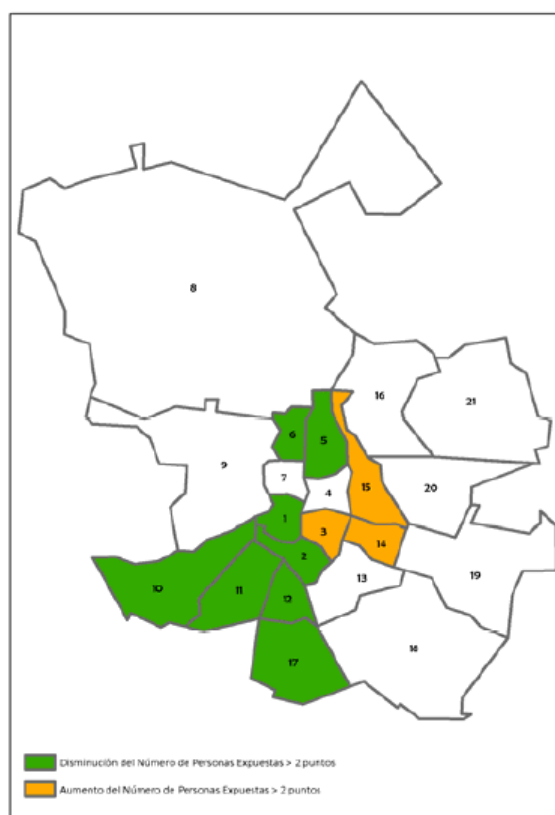
Indicador	% de la población total de Madrid por encima de los Objetivos de Calidad Acústica		Variación
	Año		
	2006	2011	
L_{d1}	5,7	4,1	-1,6
L_{e1}	5,8	2,9	-2,9
L_{n1}	20,2	14,9	-5,3
L_{den}	14,5	9,8	-4,7

Fuente: Mapa Estratégico de Ruido de Madrid 2011.

La reducción del número de personas expuestas a altos niveles no ha sido homogénea para el conjunto del municipio de Madrid. Así, en los distritos de Chamartín, Tetuán, Centro, Arganzuela, Latina, Carabanchel, Usera y Villaverde la población afectada por niveles superiores de ruido a los de los objetivos de calidad acústica ha disminuido en más de 2

puntos, mientras que en los distritos de Ciudad Lineal, Retiro y Moratalaz la población expuesta ha aumentado más de 2 puntos (Figura 30).

Figura 30. Evolución del número de personas expuestas a niveles de ruido superiores a los objetivos de calidad acústica.



Fuente: Mapa Estratégico de Ruido de Madrid 2011.

3.3.4. Especies introducidas o eliminadas

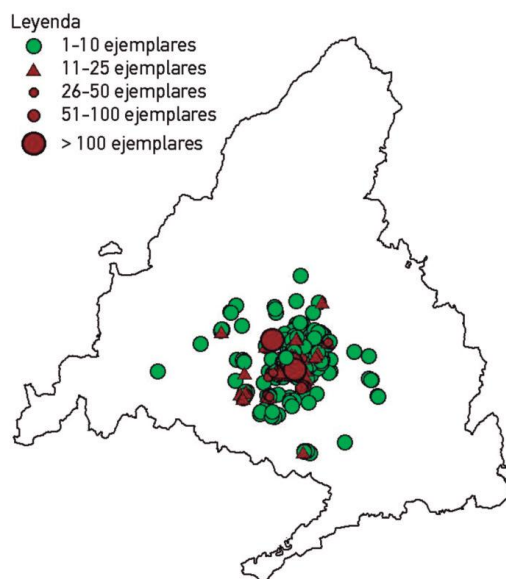
Las especies exóticas invasoras suponen una gran amenaza para la conservación de los ecosistemas y la provisión de servicios. Estas especies introducidas por el ser humano de forma intencionada o no en nuestros ecosistemas han afectado gravemente a la biodiversidad autóctona. El medio urbano, por ser un ecosistema artificial en el que gran parte de los elementos vivos han sido introducidos por el ser humano, no sólo es importante estudiar la evolución de las especies exóticas invasoras, que si no afectan tanto al ecosistema urbano sí lo hacen en los ecosistemas naturales adyacentes, sino toda la vegetación, autóctona o no, que es introducida o eliminada en las zonas verdes y las calles del municipio, ya que la biodiversidad urbana influirá directamente en la capacidad del ecosistema urbano para proveer servicios.

En el municipio de Madrid el mantenimiento y conservación de las zonas verdes y el arbolado viario corresponde a la Dirección General de Zonas Verdes, Limpieza y Residuos del Ayuntamiento, que cada año elabora una memoria de actividades en las que se detallan las actuaciones llevadas a cabo en las zonas verdes del municipio, incluyendo las especies eliminadas e introducidas en cada espacio. Por ejemplo, entre los años 2001 y 2013 el arbolado viario se ha incrementado en 38.323 unidades, aunque el incremento de 2.159 unidades de arbolado viario en el periodo 2012-2013 se debe fundamentalmente a la incorporación en conservación municipal de nuevos entornos urbanos. El incremento en

arbolado viario se ha producido en todos los distritos excepto en Moncloa-Aravaca, Latina, Puente de Vallecas, Moratalaz y Ciudad Lineal. A la par se ha incrementado la biodiversidad arbórea, lo que afecta positivamente a servicios como el control de plagas y enfermedades que se propagan con mayor facilidad en plantaciones monoespecíficas.

Un ejemplo bastante relevante en cuanto a especies exóticas invasoras en el municipio de Madrid es el caso de la cotorra argentina. La evolución de la población de cotorra argentina en la Comunidad desde su instalación a mediados de la década de 1980 ha sido enorme, experimentando un crecimiento muy alto con una tasa de incremento del 31% y duplicándose la población cada 4,5 años en el periodo 2005-2015. En el municipio de Madrid existen 2.198 nidos y su población se estima en 6.291-7.113 ejemplares. Los emplazamientos de los nidos corresponden principalmente a árboles de la familia de las cupresáceas y afines (81%) mayoritariamente cedros, seguido de árbol caducifolio (6%), generalmente plátanos, y pino (6%). Hay nidos instalados en otro tipo de apoyos como estructuras artificiales (torres y tendidos eléctricos) y otras especies de árboles, pero éstos no ocupan más del 3% de los nidos. En la Figura 31 se observa cómo los principales núcleos de nidificación de cotorra argentina se encuentran en la ciudad de Madrid extendiéndose su población por el área metropolitana y afectando a ecosistemas limítrofes.

Figura 31. Núcleos de nidificación de cotorra argentina en Madrid en 2015. Se representan puntos por colonia de nidificación o nidos o ejemplares aislados.



Fuente: La cotorra argentina en España. Población reproductora en 2015 y método de censo. Molina et al., 2016

3.3.5. Consumo de recursos

Este impulsor de cambio está directamente relacionado con los servicios de abastecimiento. En los ecosistemas urbanos, prácticamente no hay servicios de abastecimiento ya que la mayor parte de la superficie está urbanizada y eso impide que exista suelo libre para dedicarlo a otros usos como la agricultura. Por tanto, los ecosistemas urbanos como la ciudad de Madrid son totalmente dependientes del exterior para su abastecimiento, por lo que el consumo de recursos que se haga dentro del municipio ejercerá una presión en otros ecosistemas. Por ello, es importante reducir el consumo de recursos dentro de la ciudad, de esta forma reducimos

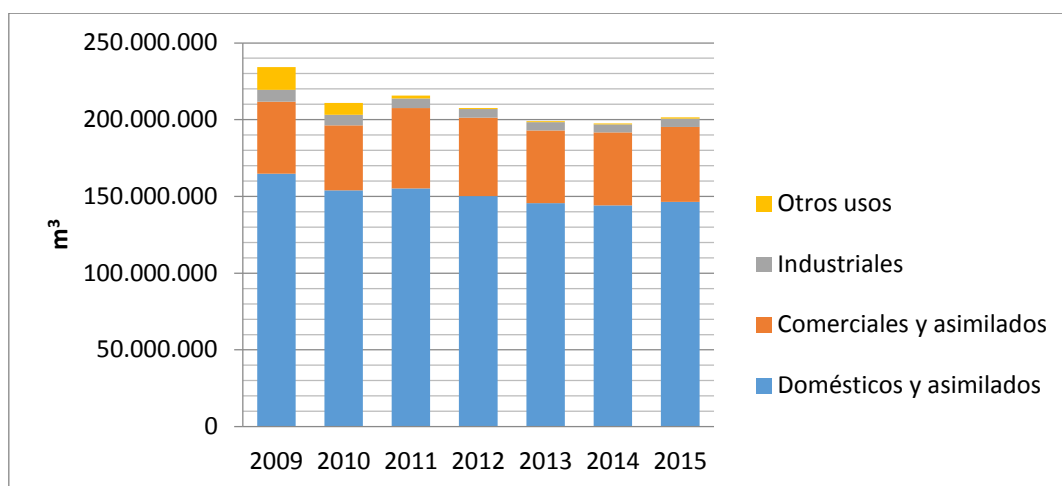
las presiones en otros ecosistemas y la dependencia del ecosistema urbano, incrementando así su resiliencia.

3.3.5.1. Consumo de agua

El agua es un recurso indispensable para la vida humana. El agua que se consume en el municipio de Madrid procede principalmente de embalses localizados fuera de los límites municipales. De forma excepcional también se llevan a cabo extracciones de aguas subterráneas en periodos de escasez o ante contingencias del sistema de abastecimiento, llegando sólo al 15% del total de captaciones de agua de toda la Comunidad de Madrid en los años de mayor extracción¹.

En 2015 se consumieron en el municipio 203 Hm³ de agua (Figura 32). Si se analiza el periodo 2009-2015 se observa un descenso en el consumo de agua del 15%, siendo el sector “domésticos y asimilados” el que más contribuye al consumo, alcanzando el 72% del total.

Figura 32. Facturación de agua por usos en el municipio de Madrid.



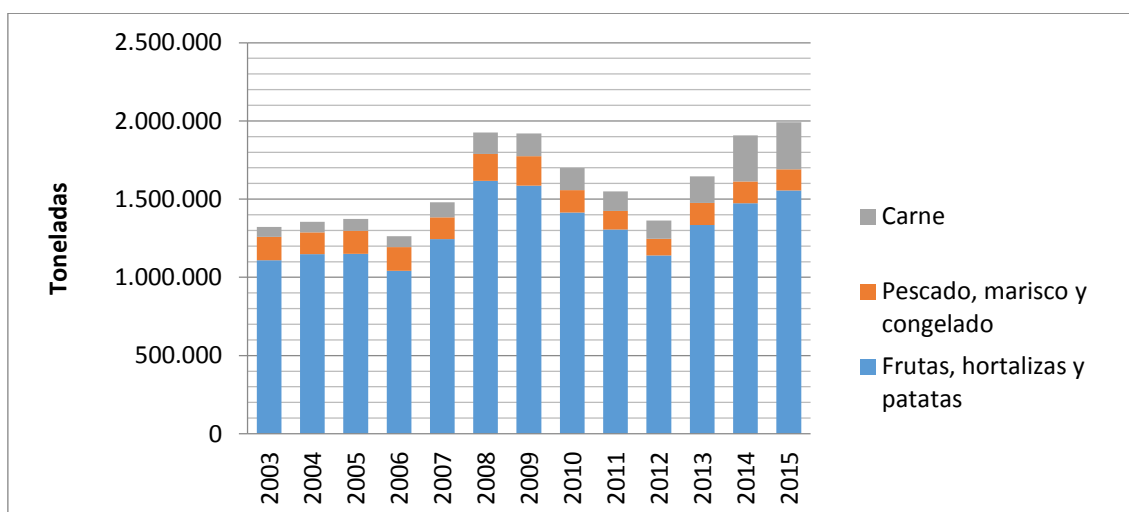
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del portal de Estadística del Ayuntamiento de Madrid.

3.3.5.2. Consumo de alimentos

El consumo de alimentos percederos en el municipio de Madrid llegó en 2015 a casi los 2 millones de toneladas, siendo la mayor parte (un 78%) frutas y hortalizas. En la Figura 33 está representada la evolución en el consumo de alimentos en el periodo 2003-2015. De 2003 a 2008 el consumo de alimentos sufre un aumento del 46%, fecha en la que vuelve a descender hasta el año 2012 en un 29%. Entre 2012 y 2015 el consumo vuelve a ascender rápidamente llegando a una tasa del 46% y alcanzando la cifra más alta del periodo analizado. Cabe señalar que en estos últimos cuatro años el consumo de carne también aumenta en una gran proporción.

¹ Datos obtenidos del portal web del Canal de Isabel II.

Figura 33. Evolución del consumo de alimentos perecederos en el municipio de Madrid.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del portal del Estadística del Ayuntamiento de Madrid.

3.3.5.3. Consumo de energía

En el periodo 2006-2014 se ha producido un descenso del 16,3% en el consumo de energía final del municipio de Madrid (Tabla 16), siendo en este último año de 3.215 ktep. Los productos petrolíferos constituyen la principal fuente de energía, con una contribución del 39,8% en 2014. Por su parte, la electricidad y el gas natural supusieron el 34,1% y el 24% del consumo en el año 2014, respectivamente.

Tabla 16. Consumo de energía final en el municipio de Madrid. Distribución por fuente energética. Periodo 2006-2014.

Año	Biomasa	Gas natural	Productos petrolíferos	Biocarburantes	Electricidad	Carbón	Solar térmica	Geotérmica	Hidrógeno	TOTAL
ktep										
2006	0,29	926,27	1.659,40	1,39	1.213,72	38,68	2,22	0,00	0,04	3.842,01
2007	0,82	986,08	1.628,13	24,77	1.234,49	35,94	2,50	0,00	0,00	3.912,74
2008	0,96	1.006,37	1.572,77	33,67	1.267,42	32,06	5,20	0,00	0,00	3.918,45
2009	1,84	928,00	1.495,16	70,10	1.251,09	28,62	8,33	0,03	0,00	3.783,17
2010	3,99	846,05	1.442,98	79,55	1.236,69	23,44	9,71	0,05	0,00	3.642,45
2011	4,91	751,92	1.394,22	80,54	1.204,29	21,81	10,68	0,09	0,00	3.468,46
2012	5,49	845,10	1.347,74	74,55	1.194,52	21,44	11,98	0,16	0,00	3.500,99
2013	6,00	874,47	1.290,12	28,37	1.133,19	21,08	12,68	0,21	0,00	3.366,12
2014	6,51	770,44	1.278,89	30,32	1.094,74	20,73	12,90	0,26	0,00	3.214,79
%										
2006	0,01	24,11	43,19	0,04	31,59	1,01	0,06	0,00	0,00	100,00
2007	0,02	25,20	41,61	0,63	31,55	0,92	0,06	0,00	0,00	100,00
2008	0,02	25,68	40,14	0,86	32,34	0,82	0,13	0,00	0,00	100,00
2009	0,05	24,53	39,52	1,85	33,07	0,76	0,22	0,00	0,00	100,00
2010	0,11	23,23	39,62	2,18	33,95	0,64	0,27	0,00	0,00	100,00
2011	0,14	21,68	40,20	2,32	34,72	0,63	0,31	0,00	0,00	100,00
2012	0,16	24,14	38,50	2,13	34,12	0,61	0,34	0,00	0,00	100,00
2013	0,18	25,98	38,33	0,84	33,66	0,63	0,38	0,01	0,00	100,00
2014	0,20	23,97	39,78	0,94	34,05	0,64	0,40	0,01	0,00	100,00

Fuente: Balance energético del municipio de Madrid. Año 2014.

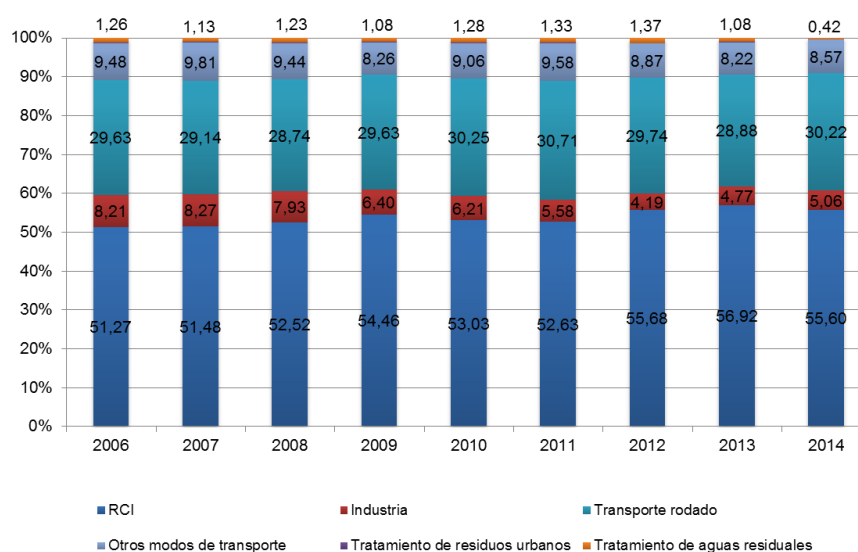
Es destacable el descenso del carbón como fuente de energía en un 46,4% en el periodo analizado debido a su abandono progresivo como fuente energética de calefacción en el sector residencial. Así, su contribución al consumo total de energía final en el municipio fue, únicamente, del 0,6% en 2014.

Las energías renovables como la solar térmica, la biomasa y la geotérmica constituyen un pequeño porcentaje de la energía total consumida en el municipio, aunque en los últimos años han empezado a cobrar más importancia. Sin embargo, los biocarburantes han experimentado

un notable descenso entre los años 2012 y 2013 como consecuencia del abandono del uso de biodiesel por parte de la flota de vehículos de la EMT.

En la Figura 34 se muestra la contribución porcentual de los diferentes sectores en el consumo de energía del municipio. El sector RCI (residencial, comercial e institucional) es el responsable del 55,6% del consumo de energía final en el municipio en 2014, seguido del transporte rodado con un 30,2%. No obstante, en ambos casos, se ha producido un descenso del consumo en el periodo analizado: 9,3% para el RCI y 14,7% para el transporte rodado. El sector industrial apenas supone el 5,1% del consumo de energía final y presenta un decrecimiento acumulado del 48,4% en el periodo 2006-2014.

Figura 34. Evolución de la distribución porcentual de consumo de energía final por sectores en el municipio de Madrid. Periodo 2006-2014.



Fuente: Balance energético del municipio de Madrid. Año 2014.

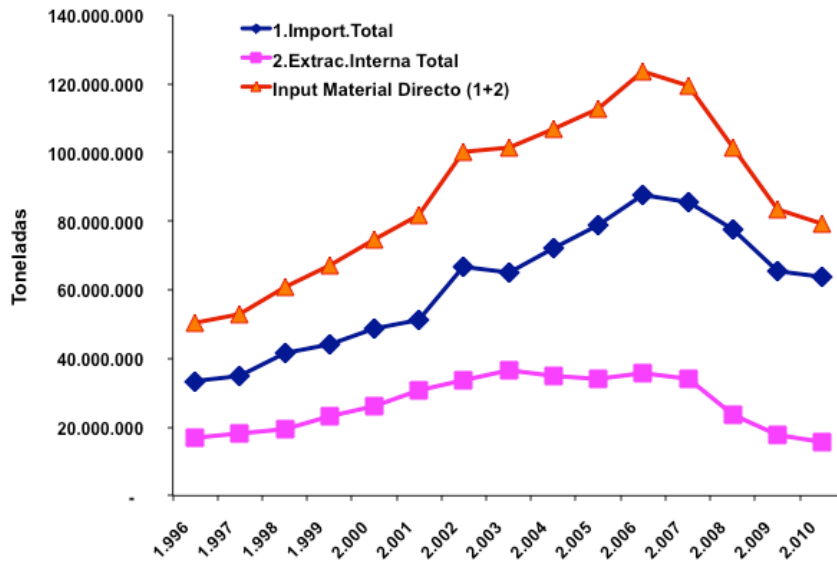
El consumo *per cápita* ha disminuido un 17,3% en todo el periodo evaluado a pesar de que la población se ha incrementado un 1,2%, debido al descenso en el consumo de energía final (16,3%).

3.3.5.4. Consumo de materiales

En la Figura 35 se muestra la evolución del consumo de materiales de la Comunidad de Madrid en el periodo 1995-2010. Se observa que desde 1996 hasta 2006 hay un crecimiento continuo del consumo de materiales, mientras que en el periodo 2007-2009 el consumo desciende progresivamente. La mayor parte de los materiales consumidos corresponden a importaciones procedentes fuera de la Comunidad, sobre todo a partir de 2001, año en el que las extracciones internas comienzan a descender de forma más pronunciada que las importaciones. Esto viene explicado por la fuerte presencia de los materiales de construcción en la extracción interna, que se ve así arrastrada a la baja por el pinchazo de la burbuja inmobiliaria y la fortísima caída de la construcción. Este fenómeno se ve reflejado también en el importante descenso que se produce en la extracción interna de materiales abióticos a partir de 2006 (Figura 36), mientras que los materiales de origen biótico, que suponen una pequeña parte de la extracción interna de materiales se mantiene constante a lo largo del periodo 1996-2010. La Figura 37 muestra cómo el auge y el desplome de la extracción interna

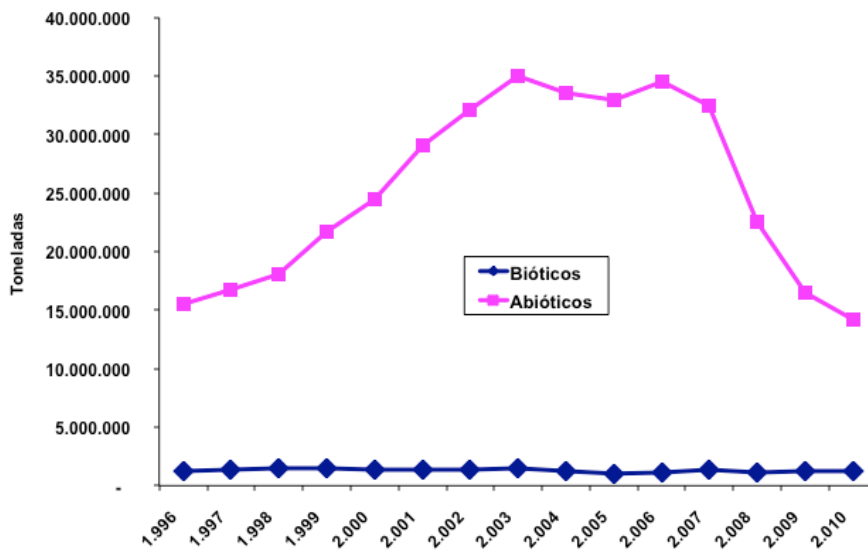
son también más intensos que los del consumo de materiales procedentes de fuera de la región.

Figura 35. Evolución y composición del consumo de materiales de la Comunidad de Madrid.



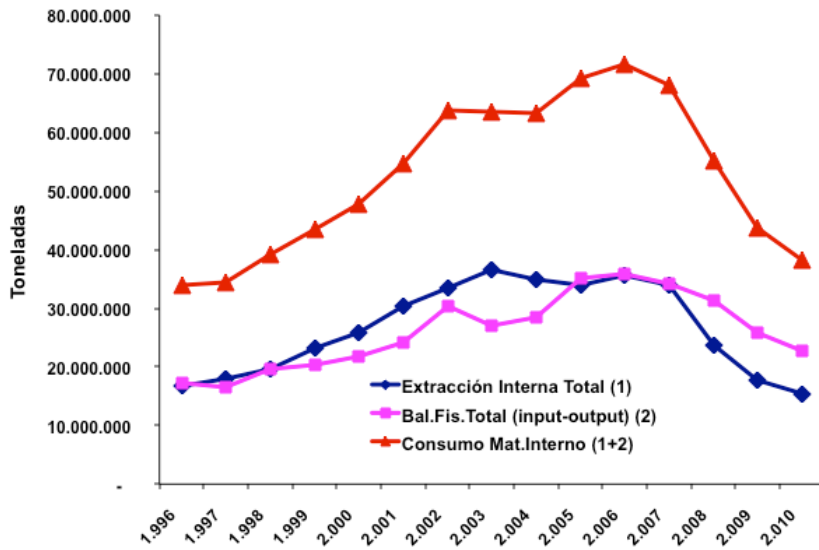
Fuente: El metabolismo económico regional español. Carpintero et al., 2015.

Figura 36. Evolución y composición de la extracción interna de materiales.



Fuente: El metabolismo económico regional español. Carpintero et al., 2015.

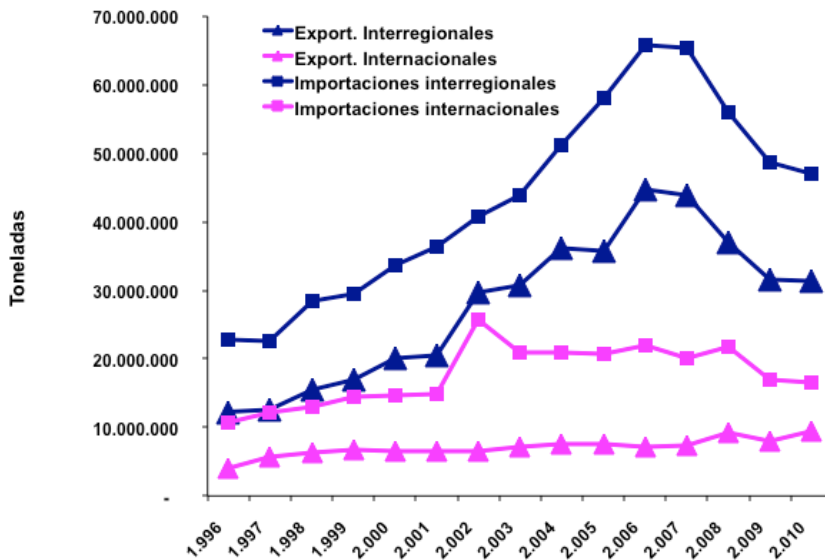
Figura 37. Evolución y composición del consumo de materiales interno.



Fuente: El metabolismo económico regional español. Carpintero et al., 2015.

En lo referente a los flujos de entradas y salidas de materiales de fuera de la Comunidad de Madrid, cabe señalar que las importaciones y exportaciones interregionales han sufrido un mayor crecimiento y posterior caída a partir de 2006-2007 que las internacionales (Figura 38).

Figura 38. Evolución composición de las importaciones y exportaciones.



Fuente: El metabolismo económico regional español. Carpintero et al., 2015.

4. Las políticas municipales del Ayuntamiento de Madrid como impulsores de cambio. Periodo 2003-2015.

El alcance temporal del estudio, 2003-2015, contempla tres periodos de gobierno: 2003-2007, 2007-2011 y 2011-2015. En los tres periodos, la administración local de la ciudad estuvo dirigida por el Partido Popular, con Alberto Ruíz-Gallardón como Alcalde-Presidente hasta que, a finales de 2011, le sucede Ana Botella, convirtiéndose en la primera Alcaldesa de la ciudad. El Partido Popular ya gobernaba en el Ayuntamiento anteriormente, pero el cambio en la dirección del gobierno conlleva también un cambio, si no tanto en la ideología, sí en las prácticas. Este periodo ha sido denominado por afines a sus protagonistas como “los tiempos modernos del Ayuntamiento de Madrid”². El punto de arranque es el Plan de Modernización en el Ayuntamiento de Madrid 2003-2007. Se trata de la incorporación de filosofías y prácticas del mundo empresarial a la gestión municipal, por medio, entre otras acciones, de la planificación estratégica y el fomento de la calidad a la hora de transformar el programa político en la actuación municipal: el Gobierno de la Ciudad establece los principales objetivos de gobierno (mapa estratégico) y el desarrollo de las actuaciones por medio de los programas operativos de gobierno. Estos programas dividen la acción municipal en diferentes áreas, que no coinciden estrictamente con las de organización política y administrativa. Esas áreas contienen las acciones, siendo éstas las unidades de análisis contempladas para este estudio. De forma paralela arranca la evaluación de la ejecución de dicha planificación por medio de indicadores clave, de gestión y también de percepción por parte de los ciudadanos.

Las políticas municipales del Ayuntamiento de Madrid (2003-2015) son consideradas como unos de los *impulsores indirectos de cambio*, pues tienen una influencia difusa en los ecosistemas por medio de la afección a los *impulsores directos*, que a su vez afectan a los servicios ecosistémicos, como se ha explicado en el segundo capítulo de este estudio. Las ciudades han de considerarse como un entramado de procesos sociopolíticos y ecológicos completamente interrelacionados. Entre los procesos sociopolíticos, las actuaciones económicas son las definitorias; más si cabe en el periodo de estudio, en el que las políticas municipales se han dirigido a convertir Madrid en una *ciudad global*, que aparezca en los *rankings* internacionales junto a *las grandes ciudades* creando una *Marca Madrid*³. Del modelo económico promovido por las políticas municipales depende el impacto en el propio ecosistema urbano de la ciudad y en el resto de ecosistemas. Sin embargo, el énfasis en el impacto ambiental de este estudio, frente a otros que se centran en dimensiones social, económica y de género, nos lleva a centrar la evaluación en aquellas políticas más implicadas en el territorio y el medio ambiente de la ciudad. Son estas las actuaciones que más influencia tendrán en los impulsores directos de cambio, y por tanto, en los servicios ecosistémicos.

² Título del libro de Julio Blanco Montero, editado por LiberFactory en 2016 y prologado por José M^a Álvarez del Manzano, alcalde en el periodo anterior al contemplado por este estudio.

³ Algunas referencias que han tratado este fenómeno son: *Madrid en el concierto de las grandes ciudades* del Observatorio Económico del propio Ayuntamiento de Madrid (2006); *Madrid ¿la suma de todos? Globalización, territorio y desigualdad* del Observatorio Metropolitano (2007) y *La construcción de la Marca Madrid*, de Isabel Canosa Zamora y Ángela García Carballo (Cuadernos Geográficos, Vol. 51 (2012) Pp.195-221.

4.1. La planificación estratégica municipal: Mapa Estratégico, Programas Operativos de Gobierno (POG) y Presupuesto General.

El Sistema de Gestión Estratégica como herramienta del Plan de Modernización en el Ayuntamiento de Madrid recoge información de la estrategia definida para el Gobierno de la Ciudad. Esta estrategia se expresa a través de un conjunto de objetivos y líneas estratégicas, que se representan gráficamente en un mapa estratégico. En las Figura 39, Figura 40 y Figura 41 se reproducen estas representaciones gráficas para los periodos estudiados.

Figura 39. Mapa estratégico 2003-2007.



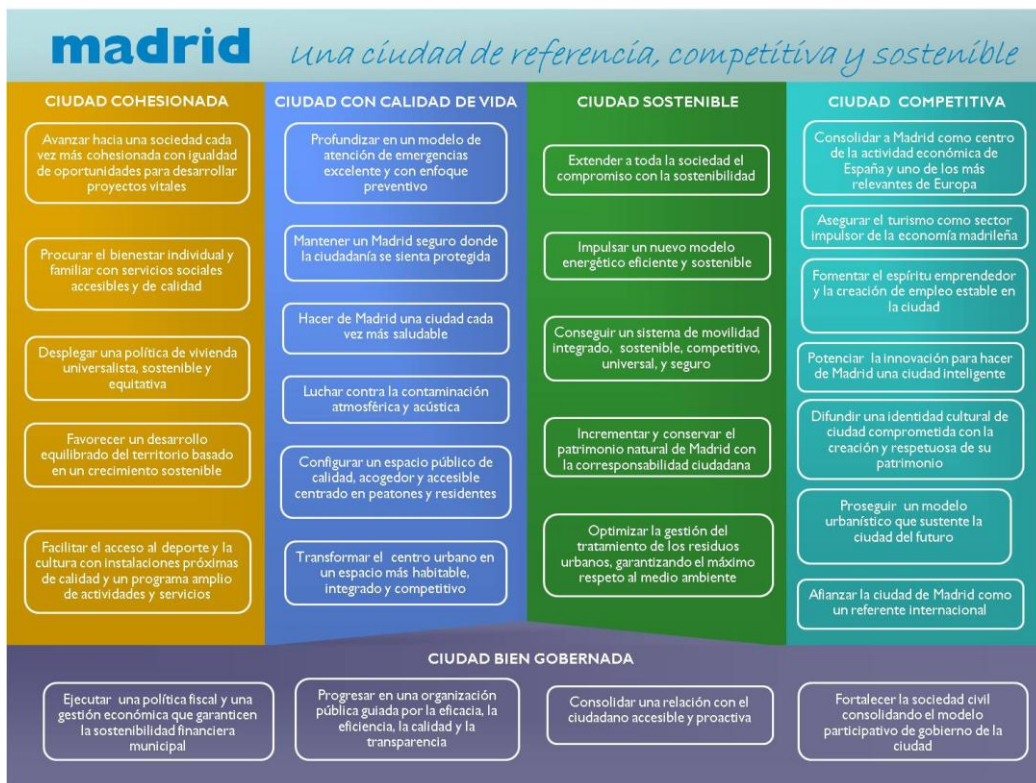
Fuente: Ayuntamiento de Madrid.

Figura 40. Mapa estratégico 2007-2011.



Fuente: Ayuntamiento de Madrid.

Figura 41. Mapa estratégico 2011-2015.



Fuente: Ayuntamiento de Madrid.

Los tres mapas son bastante similares, si bien se aprecian algunas diferencias entre ellos. En cuanto al lema central, en los primeros se mantenía el carácter *global* de la política, mientras que en el tercero se habla directamente de atributos del modelo buscado de ciudad, entre los que se incluye la sostenibilidad.

En cuanto a la agrupación de las líneas estratégicas en áreas, en el primero se hizo con enunciados sencillos (*competitiva, entorno y convivencia, internacionalización y administración de la ciudad*) mientras que en los siguientes se expresan como atributos de la ciudad. En el caso del mapa de 2007-2011 como la *ciudad socialmente integrada, con calidad de vida, internacional y bien administrada* mientras que en el mapa estratégico de 2011-2015 llama la atención que se incorpore un área propia de *ciudad sostenible* a ese listado. En este último mapa estudiado, es mayor la presencia del término *sostenible* en las líneas estratégicas, en las que se introduce, por ejemplo, para hablar de la situación financiera municipal. Otras diferencias generales a remarcar son la desaparición de la candidatura olímpica como línea estratégica en el último mapa estratégico o, respecto a la cohesión social, el tratamiento relacionado con la población inmigrante: *de acogida a los nuevos madrileños* en el primer mapa, *a integración de la población inmigrante* en el segundo y la no presencia de referencias a este aspecto en el tercero.

Entrando en aquellas líneas estratégicas que más influencia tienen con el impacto ambiental, se remarca cómo en los primeros mapas aparece una misma línea estratégica dirigida a *promover infraestructuras que mejoren la movilidad y la competitividad de la ciudad* que desaparece en el tercero, manteniendo otra que sí aparece presente en los primeros relacionada con *conseguir un sistema de movilidad integrado, sostenible, competitivo, universal, y seguro*, variando algo su redacción (en el segundo mapa esta línea se apoya en una red de transporte público que no se menciona en el tercero).

El tratamiento de los problemas ambientales se va concretando a lo largo de los años: en el primer mapa se habla de *promover un Madrid más verde, más limpio y con un paisaje urbano de calidad*, mientras que en el segundo se concreta ese paisaje urbano en *zonas verdes distribuidas por todo el territorio municipal* a la par que se crea una línea para *convertir a Madrid en un prototipo de ecosistema urbano sostenible*. Este término ecológico desaparece en el tercero, mientras que se concretan líneas estratégicas específicas sobre *luchar contra la contaminación atmosférica y acústica* (dentro del área de *ciudad con calidad de vida* no en el de *ciudad sostenible*); *impulsar un nuevo modelo energético eficiente y sostenible* y *optimizar la gestión del tratamiento de los residuos urbanos, garantizando el máximo respeto al medio ambiente*. Por otro lado, se muestra en este último mapa una mayor expresión de la responsabilidad ciudadana, apareciendo una línea sobre *extender a toda la sociedad el compromiso con la sostenibilidad* y añadiendo a la línea estratégica sobre la conservación del patrimonio natural de Madrid *con la corresponsabilidad ciudadana*.

Por último, el área de acción relacionada con el urbanismo aparece presente en los tres mapas, con una línea relacionada con el *equilibrio territorial en el desarrollo de los distritos*, que en el último de ellos queda *basado en un crecimiento sostenible*. La otra línea a señalar es la relacionada con el modelo urbanístico, que en el primer mapa se dirige a *conseguir una ciudad de vanguardia y más habitable*; en el segundo a *poner en valor la belleza y el patrimonio de la ciudad* y en el tercero, simplemente, *que sustente la ciudad del futuro*.

La concreción de estos objetivos y líneas estratégicas en acciones se realiza por medio de los Programas Operativos de Gobierno, que responden a los compromisos contraídos con la

ciudadanía a través del programa electoral. Estos compromisos se operativizan en acciones concretas que tienen un órgano directivo impulsor de su ejecución, una planificación y un sistema de evaluación. Las acciones se agrupan en Áreas de Acción en las que se desarrolla la gestión municipal. Los informes de seguimiento del Programa Operativo de Gobierno presentan la situación de las acciones: terminadas, en ejecución, planificadas o aplazadas. Los informes de evaluación del Programa Operativo de Gobierno presentan la situación global de las áreas de acción. La evaluación y el seguimiento del mapa se realiza a través de los indicadores que se han establecido para cada objetivo estratégico y para cada área de acción que aportan información para mejorar la prestación de los servicios a la ciudadanía.

Como se ha visto en los apartados anteriores se han considerado como impulsores de cambio directo en los servicios ecosistémicos (1) los cambios de usos del suelo, (2) el cambio climático, (3) la contaminación, (4) la eliminación o introducción de especies y (5) el consumo de recursos. Además de la influencia más difusa que sobre ellos tienen otras áreas de acción, como las de *Desarrollo Económico y Tecnológico, Internacionalización o Turismo*, las actuaciones que más directamente se relacionan con ellos se encuentran en las áreas de acción de *Espacios públicos, Medio ambiente, Movilidad y Urbanismo*. En menor medida se han considerado otras acciones con cierta influencia en el impacto ambiental en los servicios ecosistémicos como las de *Vivienda, Relación con la ciudadanía y Administración de la ciudad*.

Como principales fuentes de información para seleccionar las políticas y actuaciones con posibles impactos ambientales en la ciudad de Madrid se han utilizado los informes de seguimiento de los programas operativos de gobierno (2007-2011 y 2011-2015) así como las Memorias de 2011 a 2014 del Observatorio de la Ciudad. No ha sido posible disponer de información sobre el periodo 2003-2007. Por otro lado, con objeto de profundizar en la información sobre ciertas acciones, se han consultado diferentes páginas webs de las áreas de gobierno en la página web institucional del Ayuntamiento de Madrid.

A continuación, se presentan las actuaciones seleccionadas en relación a su influencia en los impulsores directos de cambio, de entre las acciones que aparecen como ejecutadas para las áreas de acción que se han mencionado anteriormente, así como una breve descripción de las mismas.

4.2. Las áreas de acción.

4.2.1. Espacios públicos

El área de acción de espacios públicos incluye actuaciones del área de gobierno de Medio Ambiente y Movilidad y de las Gerencias de Distrito dirigidas a permitir que la ciudadanía disfrute de un paisaje urbano cuidado y estético. Se centra principalmente en actividades relacionadas con los viales y aceras y, en menor medida, con las áreas infantiles y las de mayores: proyectos, pavimentación, alumbrados, mobiliario, etc.

En la Tabla 17 se recoge el presupuesto no financiero ejecutado en esta área de acción para los años de los que se disponen datos. Se observa como el presupuesto de esta área alcanzó un máximo en el 2010, a partir del cual descendió hasta representar algo más de la mitad de los que se presupuestaba entre 2008 y 2010.

Tabla 17. Evolución del presupuesto no financiero consolidado ejecutado en el área de acción de Espacios Públicos.

Año	Presupuesto ejecutado	% respecto a presupuesto total
2008	208.796.252,53	3,66%
2009	209.468.814,59	4,08%
2010	232.710.681,82	4,30%
2011	159.773.196,59	3,38%
2012	133.124.768,04	3,15%
2013	94.336.036,91	-
2014	118.188.006,64	-

Fuente: Ayuntamiento de Madrid.

En la Tabla 18 se muestra la enumeración de las actuaciones destacadas en esta área y su afección a los impulsores directos de cambio, entre las que se encuentran el pavimentado o peatonalización de vías, dirigidas tanto a vehículos como a peatones:

Tabla 18. Actuaciones significativas del área de acción de Espacios Públicos y su afección a los impulsores directos de cambio.

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
POLÍTICAS MUNICIPALES (2011-2015)					
ÁREA DE ESPACIOS PÚBLICOS					
Dotación de nuevas áreas infantiles	X		X		X
Implantación de áreas de mayores en la ciudad	X		X		X
Madrid a pie. Camino seguro al cole. Distrito de Chamartín.		X	X		X
Proyecto básico de un itinerario saludable en el barrio de Embajadores	X	X	X		X
Plan de supresión de barreras y acceso seguro al transporte público colectivo		X	X		X
Mejora de la accesibilidad y supresión de barreras en los ejes principales del distrito Tetuán		X	X		X
Supresión de barreras urbanísticas		X	X		X
Actuaciones de mejora de movilidad peatonal (distintas zonas)		X	X		X

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
Renovación y mejora de aceras y calzadas en distritos		X	X		X
Supresión de barreras urbanísticas y actuaciones de mejora de movilidad.		X	X		X
Impulso de la pavimentación sostenible			X		X

Fuente: Elaboración propia.

Los impulsores de cambio más afectados por estas acciones son la contaminación y el cambio climático dado que la mayoría de ellas intervienen en los viales que usarán tanto peatones como vehículos. En menor medida modifican los usos del suelo (en proyectos de urbanización de nuevas zonas o en la adecuación de nuevas áreas infantiles o de mayores) y afectan al consumo de recursos, tanto en la propia ejecución de la obra como posteriormente en las acciones de pavimentación y las que conllevan un incremento de la movilidad peatonal o en transporte público, al promover el abandono del uso del vehículo y disminuir así el consumo de combustible.

4.2.2. Medio ambiente

Es evidente que el área de acción de Medio Ambiente esté directamente relacionada con el impacto ambiental de las políticas municipales, y dado el énfasis en esa visión ambiental de este estudio, cobra especial protagonismo, aunque actuaciones de otras áreas tengan también un impacto ambiental. La acción municipal en medio ambiente viene ya determinada por competencias atribuidas a los entes locales como la limpieza de calles, la gestión de residuos y aguas residuales y el cuidado de los parques y jardines. También se incluyen actividades de control de la contaminación, la promoción de comportamientos *proambientales* dentro de la propia administración, pero también y, sobre todo, en toda la comunidad local. En general, el desarrollo de la normativa europea ha influido de forma patente en el desarrollo de acciones ambientales en el entorno local. Es, por tanto, un sector en el que se viene trabajando en profundidad en los ayuntamientos pues es de los que más afecta a la calidad de vida de la ciudadanía. Esta importancia se muestra también en el presupuesto municipal dedicado a sus acciones siendo una de las mayores partidas presupuestarias, representando, como se muestra en la Tabla 19, entre el 12 y el 18% del presupuesto total. En cuanto a las cantidades absolutas, hay mucha variación entre las dedicadas en los primeros años para los que se disponen datos, siendo la máxima la de 2008 y la mínima la de 2009, con un repunte en 2010, pero sin alcanzar la cantidad de 2008 y, desde entonces, en descenso progresivo.

Tabla 19. Evolución del presupuesto no financiero consolidado ejecutado en el área de acción de Medio Ambiente.

Año	Presupuesto ejecutado	% respecto a presupuesto total
2008	1.071.323.878,33	18,76%
2009	650.246.227,89	12,67%

Año	Presupuesto ejecutado	% respecto a presupuesto total
2010	904.413.345,30	16,73%
2011	771.629.570,00	16,31%
2012	741.754.977,67	17,53%
2013	694.739.307,67	-
2014	682.728.175,93	-

Fuente: Ayuntamiento de Madrid.

Se trata de un campo de acción municipal de gran dimensión y, por tanto, con un tratamiento sectorizado, tanto en su planificación como en la prestación de servicios. Así, se suceden diferentes planes que abarcan diferentes vectores ambientales como los residuos, las zonas verdes, la calidad del aire, el ruido o la movilidad. Algunos ejemplos diversos son el Plan de Calidad del Paisaje Urbano de la Ciudad de Madrid, el Plan de Gestión de la Demanda del Agua, el Plan de Calidad del Aire de la Ciudad de Madrid 2011-2015 o el Plan de Energía y Cambio Climático de la ciudad de Madrid - Horizonte 2020. Pero también ha sido objeto de planificaciones integrales y con carácter participativo, por medio de la Agenda 21 Local que tuvo una primera fase de trabajo a nivel de ciudad y una posterior en la que se desagregan las actividades de planificación, participación y evaluación de la ejecución de acciones a nivel de los 21 distritos de la ciudad.

Por otro lado, ha sido un sector externalizado, como el propio Ayuntamiento expone: *Desde hace bastantes años en la ciudad de Madrid se han externalizado, total o parcialmente, los servicios públicos relacionados con salubridad y pulcritud de espacios públicos (limpieza, recogida de residuos, contenerización, etc.), y conservación de espacios verdes*⁴. En 2012 se inicia un nuevo modelo de contratación de estos servicios, basado en la integración de servicios y la aplicación de unos indicadores de calidad. Se pasa así de una veintena de contratos para los servicios de limpieza viaria, cuidado de parques y jardines y recogida de residuos, entre otros, a sólo seis grandes contratos para toda la ciudad. Hay que destacar la importancia que supone no sólo la recogida de residuos sino el posterior tratamiento, para lo cual, el Ayuntamiento gestiona en el sureste de la ciudad, el Parque Tecnológico de Valdemingómez, con distintas infraestructuras de tratamiento de residuos, incluyendo plantas recuperadoras y de revalorización energética

A continuación, se detallan las actuaciones más relevantes en esta área de acción de cara a estudiar el impacto ambiental de las políticas de los Programas Operativos de Gobierno para los dos periodos estudiados (Tabla 20 y Tabla 21): 2007-2011 y 2011-2015. Hay un mayor nivel de detalle para el segundo periodo que para el primero, desarrollando las actuaciones agrupadas en diez proyectos:

1. Consumo sostenible
2. Flotas municipales sostenibles y no contaminantes
3. Gestión sostenible del agua
4. Madrid más limpio
5. Madrid más silencioso

⁴ Introducción de la Memoria de Actividades de la Dirección General de Zonas Verdes, Limpieza y Residuos de 2013, p. 3.

6. Mejora de las zonas verdes de la ciudad
7. Mejora y protección de los cauces fluviales
8. Movilidad con energías alternativas y no contaminantes
9. Nuevos parques forestales
10. Programa municipal de educación ambiental

En la tabla además se relaciona si estas actuaciones tienen un impacto sobre los impulsores directos de cambio establecidos en este estudio.

Tabla 20. Actuaciones significativas del área de acción de Medio Ambiente (2007-2011) y su afección a los impulsores directos de cambio.

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
POLÍTICAS MUNICIPALES (2007-2011)					
ÁREA DE MEDIO AMBIENTE					
Ajardinamiento de espacios urbanos de proximidad	X	X	X	X	X
Ampliación y mejora de grandes parques (no culminada)	X	X	X	X	X
Creación y consolidación de grandes parques (no culminada)	X	X	X	X	X
Actuaciones de mejora en Casa de Campo (no culminada)		X	X	X	X
Actuaciones de mejora en el Parque del Retiro (no culminada)		X	X	X	X
Agenda 21 Local	X	X	X	X	X
Calidad en la recogida de residuos (no culminada)		X	X		X
Educación en sostenibilidad (no culminada)		X	X		X
Empresas sostenibles		X	X		X
Energía sostenible para la ciudad		X	X		X
Instalaciones y actividades municipales sostenibles		X	X		X
Fondo estatal de empleo y sostenibilidad local: Medio Ambiente		X	X		X
Fondo estatal de empleo y sostenibilidad local: Recursos hídricos y redes de suministro de aguas					X
Fondo estatal de inversión local: Lucha contra la contaminación acústica			X		

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
Fondo estatal de inversión local: Recursos hídricos	X		X		X
Fondo estatal de inversión local: Tratamiento de residuos		X	X		X
Fondo estatal de inversión local: Zonas verdes	X	X	X	X	X
Gestión sostenible de residuos		X	X		X
Limpieza urbana de calidad			X		
Mejora de equipamientos y servicios de zonas verdes		X	X	X	
Mejora de la calidad del aire de Madrid		X	X		X
Participación de la sociedad civil en la sostenibilidad		X	X	X	X
Plan de revitalización del centro urbano: Regeneración de cauces fluviales			X	X	X
Plan de revitalización del centro urbano: Sostenibilidad y eficiencia energética		X	X		X
Proyecto Madrid Río: Actuaciones generales/Margen dcha/Margen izqda./Pasarelas, puentes y presas	X		X	X	X
Regeneración de cauces fluviales de Madrid		X	X	X	X
Uso sostenible del agua			X		X

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Actuaciones significativas del área de acción de Medio Ambiente (2011-2015) y su afección a los impulsores directos de cambio.

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
POLÍTICAS MUNICIPALES (2011-2015)					
Proyecto: Consumo energético sostenible					
Mejora de la eficiencia energética y adecuación de alumbrado público en los recintos feriales de Casa de Campo		X	X		X

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
Plan de uso sostenible de la energía y prevención de cambio climático 2013-2017		X	X		X
Promoción de medidas de eficiencia energética en comunidades de vecinos (aplazada)		X	X		X
Sistema de reducción del consumo en el alumbrado público y en instalaciones hidráulicas ornamentales		X	X		X
Sustitución de lámparas de incandescencia por LEDs en los semáforos		X	X		X
Sustitución de luminarias convencionales por iluminación LED en los aparcamientos de rotación		X	X		X
Proyecto: Flotas municipales sostenibles y no contaminantes					
Incorporación y seguimiento de vehículos menos contaminantes en la flota municipal		X	X		X
Instalación de 470 catalizadores para reducción de emisiones contaminantes en otros tantos autobuses Euro 3 de la flota		X	X		X
Renovación de la flota de autobuses articulados por autobuses de gas hasta que al menos el 35% de la misma esté compuesta por autobuses de GNC		X	X		X
Renovación de la flota de Madrid Movilidad S.A. Flota Verde		X	X		X
Proyecto: Gestión sostenible del agua					
Adecuación para la eliminación de nutrientes del tratamiento biológico de la estación regeneradora de aguas residuales de Sur Oriental		X	X	X	X
Adecuación y mejora de la estación regeneradora de aguas residuales de viveros de la villa		X	X		X
Construcción de la Red de suministro de agua regenerada mediante la conexión O'Donnell -Retiro					X

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
Construcción de las infraestructuras hidráulicas para el suministro de agua regenerada del Parque Forestal de Villaverde					X
Obras de ampliación de la capacidad del tratamiento terciario de la ERAR de La Gavia	X	X	X	X	X
Obras de la red de aprovechamiento de recursos hídricos alternativos en los parques					X
Racionalización y control de consumos municipales del agua			X		X
Proyecto: Madrid más limpio					
Recogida del cartón comercial en los principales ejes comerciales de toda la ciudad		X	X		X
Recogida selectiva de materia orgánica a grandes productores		X	X		X
Proyecto: Madrid más silencioso					
Control acústico de los niveles sonoros de emisión del parque de vehículos municipales y de la maquinaria de obras utilizada en las vías públicas			X		
Declaración de Zonas de Protección Acústica Especial y aprobación de los Planes Zonales correspondientes			X		
Realización de campañas de colocación de pavimento poroso fonoabsorbente			X		X
Proyecto: Mejora de las zonas verdes de la ciudad					
Acondicionamiento de parcelas en zona verde para la implantación de huertos urbanos comunitarios en diferentes distritos de Madrid (Inversiones Financieramente Sostenibles en Zonas Verdes y Parques)	X	X	X	X	X
Actuaciones de mejora del parque de la Fuente del Berro		X	X	X	X
Actuaciones de repoblación forestal en el Anillo Forestal de Madrid	X	X	X	X	

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
Adecuación y mejora del sistema de filtrado y depuración de la Casa de Campo			X	X	X
Desarrollo del programa de cría en cautividad de ardilla roja para refuerzo de poblaciones en zonas verdes				X	
Mejora del ajardinamiento del Ensanche de Vallecas		X	X	X	X
Obras de mejoras de la red de riego y de las infraestructuras existentes y acondicionamiento de elementos vegetales en diferentes zonas verdes de Madrid		X	X	X	X
Proyecto: Mejora y protección de los cauces fluviales					
Encauzamiento del Arroyo del Fresno al río Manzanares		X	X	X	X
Encauzamiento y mejora del Arroyo de los Migueles		X	X	X	X
Mejora de la capacidad de desagüe en la red de saneamiento de la cuenca de Abroñigales			X		X
Recogida de vertidos en el tramo superior del río Manzanares			X		X
Vigilancia y telecontrol de los vertidos de aguas pluviales al río Manzanares			X		
Proyecto: Movilidad con energías alternativas y no contaminantes					
Ampliación de la red de combustibles alternativos y puntos de recarga eléctrica		X	X		X
Aplicación de multicriterios medioambientales en las tarifas del Servicio de Estacionamiento Regulado		X	X		X
Creación de la Zona de Bajas Emisiones en el Estacionamiento Regulado		X	X		X
Implantación de Puntos de Recarga de Vehículos Eléctricos en los aparcamientos de rotación		X	X		X
Proyecto: Nuevos Parques Forestales					

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
Creación del Parque Forestal de Villaverde	X	X	X	X	X
Restauración hidráulica y paisajística del Arroyo Valdebebas en el tramo comprendido entre la M-40 y la M-12. Fase I	X	X	X	X	X
Explotación de las plantas de biometanización y tratamiento de biogás de biometanización en el Parque Tecnológico de Valdemingómez		X	X		X
Incremento de la capacidad de valorización del biogás de la Planta de la Galiana		X	X		X
Incremento en la producción de energía eléctrica en la planta de valorización de La Galiana		X	X		X
Inyección de biogás en la red gasística en el Parque Tecnológico de Valdemingómez		X	X		X
Producción de energía eléctrica con biogás del vertedero actual en el Parque Tecnológico de Valdemingómez		X	X		X
Programa municipal de Educación Ambiental					
Desarrollo de Campaña de fomento de utilización del transporte público		X	X		X
Desarrollo de Campañas de separación de residuos con ECOEMBES		X	X		X
Desarrollo de campañas informativas sobre uso de la bicicleta en la ciudad		X	X		X
Desarrollo del Proyecto educativo en centros escolares para la gestión sostenible de recursos y residuos		X	X		X
Fomento de la sensibilización para la separación de residuos en grandes eventos		X	X		X
Proyecto: Tratamiento de los residuos urbanos					
Elaboración de un Plan Local de Gestión de Residuos		X	X		X

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
Incremento de la recuperación de materiales reciclables en la planta de clasificación de Las Dehesas		X	X		X

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado del estudio de la influencia de las diferentes acciones del área de acción de Medio Ambiente en los impulsores de cambio, se destaca cómo el más afectado es el de contaminación (atmosférica, acústica y de aguas), al llevarse a cabo actuaciones tanto de control de la misma como de prevención y corrección. En una visión positiva, las actuaciones relacionadas con los parques, jardines y zonas verdes también influyen en este impulsor, al promover servicios de regulación tales como la reducción del ruido o la regulación de la calidad del aire. El cambio climático está también bastante relacionado con las actuaciones realizadas desde el área de medio ambiente, como aquellas relacionadas con la reducción de emisiones contaminantes, pero también las relacionadas con la gestión y tratamiento de residuos. Los cambios de usos del suelo y las especies introducidas o eliminadas están principalmente relacionados con las actuaciones en los parques, jardines y zonas verdes, mientras que el impulsor consumo de recursos se relaciona principalmente con las actuaciones de gestión de residuos y de consumo energético.

4.2.3. Movilidad y transporte.

Se incluyen en esta área de acción aquellas actuaciones dirigidas a la gestión de la movilidad y transporte, desde el punto de la gestión de su funcionamiento, hasta el punto que en los primeros años estudiados eran actuaciones compartidas entre el Área de Gobierno de Seguridad y el de Medio Ambiente y Movilidad, de ahí que una de sus actuaciones fuese la creación del cuerpo de Agentes de Movilidad (2004). Aunque no se ha podido analizar el programa operativo 2003-2007, en ese periodo la restructuración de la M-30 sería la principal actuación, no sólo del área de movilidad y transporte, sino de toda la política municipal, al considerarse el proyecto estrella de ese periodo, siendo el de la siguiente el de la habilitación en superficie de Madrid Río. Es evidente la importancia de esa infraestructura en el modelo de movilidad de la ciudad y reflejo de la atención preferente al vehículo privado motorizado en la política municipal frente al transporte público, la movilidad peatonal o en bicicleta. Se muestra una mejor y mayor consideración en el caso de la bicicleta pues se ha pasado de construir el anillo ciclista de Madrid (terminado en 2007), con una visión puramente recreativa y lúdica de la bicicleta, al diseño de un Plan Director Ciclista (2008), que contempla el uso de la bicicleta como medio alternativo al automóvil y la implantación del sistema público de alquiler de bicicletas, *BiciMad* (2014). En la última etapa estudiada, también se ha trabajado en el diseño del Plan de Movilidad Urbana de la Ciudad de Madrid (2014). Esta área contempla la prestación del servicio público urbano colectivo de superficie, gestionado por la Empresa Municipal de Transportes, pero también el control del estacionamiento regulado, que aunque derivado del antiguo ORA (operación de regulación del aparcamiento) de los ochenta, ha vivido su formalización y extensión desde 2003. Esto justifica en buena medida la importancia presupuestaria de esta área de acción, que llega a representar cerca de una quinta parte del presupuesto municipal, como muestra la Tabla 22. En términos absolutos no se aprecian

grandes diferencias en las partidas presupuestarias de los distintos años estudiados, aunque en términos porcentuales se observa un ascenso en 2010 y 2011, año en el que alcanza el 20%.

Tabla 22. Evolución del presupuesto no financiero consolidado ejecutado en el área de acción de Movilidad y Transporte.

Año	Presupuesto ejecutado	% respecto a presupuesto total
2008	962.674.229,31	16,85%
2009	856.573.558,68	16,69%
2010	925.231.761,80	17,11%
2011	945.910.854,43	20,00%
2012	823.005.691,56	19,45%
2013	906.744.220,89	-
2014	885.675.158,95	-

Fuente: Ayuntamiento de Madrid.

En las Tabla 23 y Tabla 24 se muestran las actuaciones seleccionadas del área de Movilidad y Transporte como las más relevantes para el estudio del impacto ambiental. El nivel de detalle es menor que el de otras áreas, contemplando actuaciones de renovación y ampliación de los servicios de transporte público y la promoción de transportes no contaminantes, como la bicicleta o la movilidad peatonal.

Tabla 23. Actuaciones significativas del área de acción de Movilidad y Transporte (2007-2011) y su afección a los impulsores directos de cambio.

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
<i>POLÍTICAS MUNICIPALES (2007-2011)</i>					
ÁREA DE MOVILIDAD Y TRANSPORTES					
Actuaciones de mejora en la red de Metro/Ampliación del servicio en la red de Metro		X	X		X
Ampliación de la red de líneas del servicio de nuevos desarrollos urbanos/Ampliación y renovación de la flota		X	X		X
Fondo estatal de empleo y sostenibilidad local: Movilidad		X	X		X
Fondo estatal de inversión local: Movilidad		X	X		X

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
Fondo estatal de inversión local: Movilidad ciclista/Impulso de la movilidad ciclista		X	X		X
Plan de revitalización del centro urbano: Transporte público		X	X		X

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Actuaciones significativas del área de acción de Movilidad y Transporte (2011-2015) y su afeción a los impulsores directos de cambio.

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
POLÍTICAS MUNICIPALES (2011-2015)					
ÁREA DE MOVILIDAD Y TRANSPORTES					
Ampliación y reordenación de líneas de la EMT		X	X		X
Madrid aparca los vehículos		X	X		X
Madrid en bici		X	X		X
Mejora del servicio de taxi en la ciudad		X	X		X
Pacificación y templado del tráfico a favor del peatón		X	X		X
Retirada de vehículos en la vía pública		X	X		X

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, los impulsores más afectados son especialmente los de cambio climático, contaminación y consumo de recursos, por la relación de la movilidad con el consumo energético y la emisión tanto de gases de efecto invernadero como de otros contaminantes perjudiciales para la salud humana, tales como los óxidos de nitrógeno (NO_x) o el ozono troposférico (O₃), que aunque no es emitido directamente por los vehículos se forma a partir de otros gases emitidos.

4.2.4. Urbanismo

El área de acción de Urbanismo contempla la actividad de gestión de los cambios de usos del suelo, por medio de la planificación y ejecución de los instrumentos urbanísticos, derivados de una maraña de planes, revisiones, avances y sentencias judiciales que hacen realmente difícil construir un relato urbanístico de la ciudad. El Plan General de Ordenación Urbana de 1985 se basó en la austeridad, en el no crecimiento de la ciudad. Defendía un modelo de ciudad compacta, que limitara el suelo disponible y planificara el objetivo del reequilibrio de la ciudad, incorporando nuevos valores como la protección del medio ambiente y del patrimonio edificado, así como la mejora de equipamientos sociales. Fue criticado por ser

extraordinariamente restrictivo en la clasificación del suelo urbanizable. Así, en 1997 la administración ya gobernada por el Partido Popular promueve la aprobación de un nuevo plan general con un carácter completamente diferente al anterior: basado en el crecimiento de la ciudad, ofertando suelo a saturación y no intervencionista o, más bien, que la Administración no ofreciera obstáculos que limitaran la capacidad de transformar el territorio a las fuerzas económicas⁵. Las leyes nacionales y autonómicas y la coyuntura económica-financiera facilitaron, a principios de este siglo, que la ciudad desarrollara un ciclo expansivo de su urbanismo, teniendo como principal exponente la ejecución de los Programas de Activación Urbanística (PAUs) de los nuevos desarrollos, sobre todo en la zona sureste de la ciudad. En el año 2013 se realizaron los trabajos para la revisión del planeamiento general, que finalmente se quedaron en la fase de Avance del proceso.

Al ser un área de gestión eminentemente administradora, más que inversora o prestadora de servicios directos a la ciudadanía, su participación en el presupuesto municipal no es tan alta como las áreas de movilidad o medio ambiente, tal y como se aprecia en la Tabla 25. Así, el presupuesto dedicado al área de gestión del Urbanismo representa en torno al 5% del presupuesto total, habiendo disminuido a la mitad, en torno al 3%, desde 2011.

Tabla 25. Evolución del presupuesto no financiero consolidado ejecutado en el área de acción de Urbanismo.

Año	Presupuesto ejecutado	% respecto a presupuesto total
2008	296.194.251,27	5,19%
2009	303.944.149,39	5,92%
2010	340.337.650,49	6,30%
2011	164.836.031,03	3,49%
2012	114.590.420,64	2,71%
2013	152.830.247,93	-
2014	154.830.247,93	-

Fuente: Ayuntamiento de Madrid.

En las Tabla 26 y Tabla 27 se recogen las actuaciones de esta área más relevantes para el impacto ambiental, que como se observa consiste principalmente en la ejecución de los instrumentos urbanísticos para los nuevos desarrollos o remodelación de barrios.

⁵ Sirvan como referencias para el tratamiento de los efectos de las políticas urbanísticas de Madrid los textos de Delgado Jiménez, A., (2011), *Planificar en crisis. La transformación de la Planificación urbanística en relación con las Crisis: la región metropolitana de Madrid, 1985-2007*. Revista Ciudades, 14 (1) 2011: Pp. 159-187; De la Fuente, R. y Velasco, M. (2012), *La política urbana en Madrid: un relato provisional*. Geopolítica(s), vol. 3, nº 1, p. 35-59; y Córdoba Hernández, R., (2015) *Nulidad parcial del PGOU 97. Implicaciones de las sentencias del Tribunal Superior de Justicia y del Tribunal Supremo para la ciudad de Madrid*. Cuaderno de Investigación Urbanística nº 100 – mayo / junio 2015, pp. 15-18.

Tabla 26. Actuaciones significativas del área de acción de Urbanismo (2007-2011) y su afección a los impulsores directos de cambio.

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
POLÍTICAS MUNICIPALES (2007-2011)					
ÁREA DE URBANISMO					
Creación de nueva vivienda en ámbitos de suelo urbano con actuación pública	X	X	X		X
Estrategia de sostenibilidad en el planeamiento urbano	X	X	X	X	X
Modificación de la normativa para mejorar la accesibilidad, sostenibilidad y habitabilidad de los edificios		X	X		
Proyecto Eje Prado-Recoletos	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Actuaciones significativas del área de acción de Urbanismo (2011-2015) y su afección a los impulsores directos de cambio.

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
POLÍTICAS MUNICIPALES (2011-2015)					
ÁREA DE URBANISMO					
Barrios en remodelación	X	X	X	X	X
Nuevos desarrollos urbanos	X	X	X	X	X
Revisión del Plan General de Ordenación Urbana	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de su poca relevancia presupuestaria, o de la falta de detalle en las actuaciones, son las de mayor impacto ambiental, en la medida en que afectan en su gran mayoría a la totalidad de los impulsores de cambio. Un nuevo desarrollo urbanístico supone un evidente cambio de uso de suelo, y su localización periférica hace que aumente la contaminación, las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo general de recursos, tanto en su propia construcción como, principalmente, en su uso posterior. Quizá el impulsor menos afectado es el de la introducción de especies o eliminación de éstas, aunque en la medida que ocupan espacios generalmente rústicos o naturales, se eliminan aquellas con las que ya contaba ese espacio.

4.2.5. Otras áreas.

Para finalizar la identificación de las políticas con impactos ambientales más relevantes, se completa esta enumeración con acciones de otras áreas (Tabla 28) a las ya tratadas que, en un

principio, por la visión ambiental del estudio no se han incorporado en su totalidad. Son acciones derivadas de las áreas de Infraestructuras, Relación con la Ciudadanía y Vivienda, aunque como ya se ha mencionado en otras partes de este estudio, otras áreas más vinculadas con los ámbitos económicos son también susceptibles de causar impactos ambientales.

Tabla 28. Actuaciones significativas de otras áreas y su afección a los impulsores directos de cambio.

POLÍTICAS MUNICIPALES	IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO				
	Cambios de usos del suelo	Cambio climático	Contaminación	Especies introducidas o eliminadas	Consumo de recursos
POLÍTICAS MUNICIPALES (2007-2011)					
ÁREA DE INFRAESTRUCTURAS					
Construcción y reconversión de áreas intermodales	X	X	X		X
Mejora de conexión entre distritos y barrios		X	X		X
Plan de revitalización del centro urbano: Construcción de aparcamientos y SER	X	X	X		X
Promoción de la construcción de calzadas reservadas al transporte público		X	X		X
POLÍTICAS MUNICIPALES (2011-2015)					
ÁREA DE RELACIÓN CON LA CIUDADANÍA					
Desarrollo de la administración electrónica		X	X		X
ÁREA DE ADMINISTRACIÓN DE LA CIUDAD					
Contratación municipal sostenible y eficiente		X	X		X
Mejora de Edificios Municipales		X	X		X
ÁREA DE VIVIENDA					
Rehabilitación de las viviendas		X	X		X
Viviendas sostenibles y nuevas formas de habitar		X	X		X

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Actuaciones municipales más significativas.

En los anteriores apartados se han descrito las actuaciones municipales que afectan a los impulsores de cambio, comprendidas en las áreas de acción de espacios públicos, medio ambiente, movilidad y transporte y urbanismo, principalmente. A modo de conclusión de este capítulo, se relacionan dos actuaciones que se consideran las más significativas, debido a: (1)

su afección directa a todos los impulsores de cambio, en especial, al de cambios de usos del suelo; (2), su gran dimensión y la magnitud de su impacto ambiental, afectando a la dinámica de todo el ecosistema urbano; y (3) su coste en los presupuestos municipales, en especial, la primera de ellas:

- **Madrid Calle 30 y Madrid Río:** La restructuración de la M-30 contempló hasta 15 proyectos que incluyen los correspondientes al soterramiento de la vía en la zona paralela al río (desde la A-5 hasta el nudo Sur), los by-pass Norte y Sur (con los se duplican los viales) y otras acciones de soterramiento y mejora en la circunvalación, todos ellos orientados a una supuesta mejora de la movilidad basada en el aumento de la capacidad de las infraestructuras viarias. Se dedicó toda una legislatura, entre 2003 y 2007, para el desarrollarlo de las principales obras, y supuso un endeudamiento de las cuentas municipales de, al menos, 35 años. Precisó de un cambio de titularidad de la vía, que pasó a ser “calle” para justificar la competencia municipal y que formó parte de la artimaña judicial empleada para intentar evadir el proceso de evaluación de impacto ambiental, que tuvo que hacerse tras su finalización, en 2007, por resolución de la sentencia del Tribunal Europeo de Justicia. Tras las obras de ingeniería subterránea, en su gran parte, entre 2007 y 2011, en la segunda legislatura del periodo estudiado, se desarrollaron los trabajos de acondicionamiento de la superficie, con la creación de una zona verde (Madrid Río) paralela al tramo urbano del río Manzanares y que conecta el Monte de El Pardo y la Casa de Campo con el Parque Lineal del Manzanares.
- **Los PAUs:** El despliegue urbanístico en la periferia de la ciudad es la segunda actuación más significativa. Si bien, dentro de la almendra central, existen actuaciones proyectadas y ejecutadas que suponen un cambio importante en el urbanismo de la ciudad consolidada (remodelación eje Prado-Recoletos; las cuatro torres del Real Madrid y la Operación Chamartín o la Operación Mahou-Calderón), son las actuaciones de desarrollo urbanístico desde cero las más relevantes en base a su impacto ambiental. Estos nuevos desarrollos, denominados PAUs, por las siglas del instrumento urbanístico que los posibilitan, se han realizado sobre terrenos mayoritariamente rústicos y naturales, fuera de la trama urbana, por lo que requieren de infraestructuras de transporte para conectarse con la ciudad. Aparecen en la zona norte (PAUs de San Chinarro, Las Tablas, Montecarmelo y Arroyofresno, éste con campo de golf incluido); suroeste (PAU de Carabanchel), noreste (Valdebebas y ensanche de Barajas) y, principalmente, sureste (Ensanche de Vallecas, El Cañaverl, Los Ahijones, Los Berrocales y Valdecarros). Aunque parte de ellos fueron ya concebidos y aprobados en los noventa, es en el cambio de siglo cuando viven su desarrollo y expansión. Entre 2004 y 2006 se aprobaron los de Valdebebas, El Cañaverl, Los Ahijones, Los Berrocales y Valdecarros cuya superficie es el doble de los aprobados entre 1995 y 1999.

5. La influencia de las políticas municipales en los servicios de los ecosistemas de la ciudad de Madrid.

En el tercer capítulo de este estudio se ha tratado la problemática ambiental de la ciudad de Madrid, por medio de la descripción de la situación de los *impulsores directos de cambio*. En el capítulo cuarto se ha procedido a la identificación de las actuaciones municipales más relevantes en cuanto a su impacto ambiental, tomando en consideración aquellas que afectaban a los *impulsores directos de cambio*.

Este quinto capítulo hace una síntesis de los dos anteriores, intentando vislumbrar la relación que han tenido las actuaciones municipales, y su influencia en los impulsores directos de cambio, en la provisión de los servicios del ecosistema urbano de Madrid, así como en los ecosistemas externos con los que se relaciona. Se toma, así, como punto de partida la situación de los impulsores directos de cambio que se ven afectados por los impulsores indirectos, entre los que se encuentran las políticas municipales, pero no sólo. Otros impulsores indirectos son los cambios demográficos o socioeconómicos y, así, la crisis económica de 2007 supone un importante factor a tener en cuenta a la hora de explicar la situación de los impulsores directos de cambio en la ciudad de Madrid y su afección a la capacidad de provisión de servicios ecosistémicos.

El periodo de estudio (2003-2015) se corresponde con una coyuntura a nivel regional, nacional y europea caracterizada por políticas neoliberales de aumento de la expansión urbana, promoción de "proyectos estrella" y orientación internacional de la ciudad. Se justifican con el fin de de aumentar la inversión y la rentabilidad de la economía municipal, pero se encontraron con un punto de inflexión en 2007, como se aprecia en buena parte de las variables que explican la situación de los impulsores directos de cambio y los servicios ecosistémicos que veremos a continuación.

5.1. Cambios de usos del suelo

La ciudad de Madrid ha sufrido una fuerte transformación en los usos del suelo, fruto de la expansión urbana, que es el proceso por el cual las ciudades incrementan su superficie de suelo urbanizado por encima del crecimiento de su población, ocupando terrenos rústicos o naturales, aumentando el consumo de recursos y el impacto ambiental de la ciudad. Madrid aumentó el suelo urbano consolidado en unas 7.000 ha, correspondientes a los nuevos desarrollos urbanísticos en la periferia de la ciudad. Esto supone que esas superficies han perdido su carácter natural, siendo en su mayoría construidas y su suelo impermeabilizado. Esto impide o dificulta, por ejemplo, su anterior uso agrícola (abastecimiento de alimentos) o la recarga de los acuíferos (abastecimiento de agua). Al mismo tiempo, la transformación en suelo urbano, sin considerar en su diseño la capacidad del ecosistema urbano para proveer servicios de regulación, provoca un incremento de la temperatura local o de la escorrentía superficial, aspectos estos que se ven muy influenciados por el proceso de cambio climático en el que nos encontramos y que van a ser determinantes en la calidad de vida de las ciudades. Al mismo tiempo, el modelo de construcción elegido no ha tenido en cuenta la capacidad del ecosistema para abastecerse de fuentes renovables de energía como la solar, habiendo desaprovechado la oportunidad de hacer el sistema más resiliente disminuyendo su dependencia de sistemas exteriores.

Como ya se señalaba en el capítulo 3, la superficie de zonas verdes en conservación municipal ha aumentado en los últimos 12 años un 34%. Sin embargo, si se analiza su distribución se puede ver que lo ha hecho, principalmente, en los distritos exteriores, fuera del centro de la ciudad y, por tanto, alejadas de las zonas más pobladas. La capacidad que tienen estas zonas verdes para suministrar servicios, como la regulación de la contaminación y del ruido o de sus beneficios estéticos y la posibilidad de realizar actividades recreativas en ellos, no afectan a los vecinos y vecinas que habitan en los distritos del centro de Madrid, que son probablemente quienes más necesitan de ellos por aspectos como la influencia del tráfico, el efecto de isla de calor o la dificultad de acceder a espacios públicos. Se puede tomar como excepción Madrid Río que sí se ubica en una zona necesitada de este tipo de servicios y que, por lo tanto, su provisión se ha visto aumentada. En este caso, y en el resto de “nuevos parques” hay que prestar atención a que su diseño haya tenido en cuenta la conectividad y la estructura funcional del espacio verde creado (diferencia de estratos vegetales, zonas de refugio de fauna, diversidad de especies arbóreas, etc.), cuestiones que pueden amplificar servicios como el control biológico o la regulación de la calidad del aire

El binomio que alimenta la expansión urbana es la construcción de infraestructuras de transporte y la construcción de nuevos desarrollos urbanísticos. De ahí que la reforma de la M-30 y los nuevos desarrollos urbanísticos (PAUs) sean las actuaciones políticas más significativas desde el punto de vista del impacto ambiental, como hemos visto en el anterior capítulo, que sirven de reflejo de la orientación política en los últimos años. El aumento de vías de circulación facilita su uso y, por tanto, la posibilidad de vivir más lejos de los centros de trabajo, estudio y ocio. Esto hace que se construyan nuevos núcleos urbanos en la periferia. Pero también en la almendra central se han desarrollado operaciones que han posibilitado el cambio de uso del suelo urbano como las vinculadas a los estadios y campos de entrenamiento de los equipos madrileños de fútbol: la construcción de las cuatro torres de Chamartín en los antiguos campos de entrenamiento del Real Madrid, espacios libres con arbolado de buen porte que fueron eliminados y que han modificado el *skyline* de la ciudad. Estas torres son la antesala de una transformación mayor, la Operación Chamartín, que vendría a completar la zona norte de la ciudad, extendiendo el eje de la Castellana. Con semejante patrón se orientó la operación Mahou-Calderón, proyectando torres y extendiendo la construcción de edificios de vivienda, que aunque cuenten con zonas verdes, no son las mayoritarias.

El desarrollo de esas infraestructuras y zonas urbanizadas suponen una serie de impactos ambientales considerables derivados tanto de su construcción como de su funcionamiento, impactando no solo al impulsor directo de cambios de suelo, sino también al resto. En todos estos casos es necesario mantener la capacidad del ecosistema urbano para proveer servicios, teniendo en cuenta una menor afección a la estructura del suelo, la incorporación de espacios de carácter natural, el mantenimiento de los ciclos del agua y de la materia, la conservación o mejora de la biodiversidad urbana, etc.

5.2. Cambio climático.

Las ciudades tienen una alta responsabilidad en la contribución al cambio climático, del que también se ven afectadas. Por un lado tanto las emisiones directas por el transporte (CO₂), la gestión de los residuos (CH₄) o la utilización de los sistemas de refrigeración (HFCs) como las indirectas (consumo de energía) van a contribuir a incrementar el proceso. Pero, por otro lado, el cambio climático va a impactar sobre la calidad de vida de sus habitantes, por fenómenos como las olas de calor, las sequías o el incremento de los eventos climáticos extremos. En este contexto, las políticas municipales de adaptación al cambio climático son fundamentales y la

capacidad del ecosistema urbano para proveer los servicios de regulación debe ser tenida en cuenta.

La dimensión de la ciudad de Madrid hace que sea la principal ciudad española que contribuye al cambio climático, al ser la que tiene más emisiones, derivadas principalmente del transporte y del sector residencial, comercial e institucional (RCI), que suponen en total en la ciudad el 70% de las emisiones. Se ha constatado una reducción generalizada de las emisiones directas de los gases de efecto invernadero desde el inicio de la crisis, que en el caso del CO₂ ha sido del 60%, aunque no es el caso de otros gases como los HFCs, cuyas emisiones han aumentado.

Al mismo tiempo, los efectos del cambio climático se han visto agravados, como muestra la intensificación de la isla de calor con un aumento de noches “cálidas” y un incremento de las temperaturas máximas. Por otra parte, el índice de impacto de la isla de calor es muy diferente para los distintos distritos de la ciudad, siendo más alto en zonas densamente edificadas y faltas o alejadas de zonas verdes, que permitirían disminuir la temperatura ambiente y crear zonas de sombra atemperando esa isla de calor. Ante estas situaciones, se ha incrementado el uso de sistemas de refrigeración, lo que explica las mayores emisiones de HFCs y, por lo tanto, se ha alimentado la espiral del fenómeno, pues son también gases de efecto invernadero.

Otros efectos del cambio climático se derivan de la mayor frecuencia de sequías y de su duración, lo que puede afectar al abastecimiento de agua, tanto para consumo humano y sus actividades económicas, pero también al estado de las zonas verdes, que son fundamentales para la provisión de servicios de regulación y culturales. Quizá con menos importancia, hay que destacar el aumento del riesgo potencial de inundaciones que, sin ser alto, puede afectar a los barrios cercanos a los cursos del río Manzanares y los arroyos de la ciudad. Sin embargo, sí hay que tener en cuenta que el incremento de las precipitaciones extremas puede provocar el colapso del sistema de alcantarillado y el drenaje del agua. Es en este aspecto en el que el incremento de la presencia de especies vegetales (disminución de la escorrentía superficial, control de la erosión) y el mantenimiento de la estructura del suelo, que permite un mejor drenaje, son fundamentales.

Todos estos aspectos no se han contemplado convenientemente a la hora de diseñar los nuevos espacios urbanos, ni ha existido una política específica destinada a atemperar los efectos del cambio climático en la que se tuvieran en cuenta elementos relacionados con el diseño natural del espacio público.

A pesar de la reducción de las emisiones, las magnitudes de las mismas siguen siendo elevadas. Dado que la situación ha cambiado por la crisis, una vez haya visos de mejora económica, al no cambiar el modelo, puede volver a reproducirse el mismo patrón contaminante. Es por eso que las medidas tendentes a la reducción de emisiones derivadas del transporte y del sector residencial, comercial e institucional son necesarias. En este sentido, la expansión urbanística de Madrid no ha supuesto una mejora de esta situación. La atención a la mejora de la circulación y la ubicación de nuevos entornos residenciales en la periferia no parece una buena estrategia de lucha contra el cambio climático. Según los datos del diagnóstico del Plan de Movilidad Urbana Sostenible de Madrid, se reconoce que desde el año 2004 hasta el 2012, el descenso del tráfico de vehículos privados en Madrid ha sido de prácticamente un 15%. Por el contrario en tráfico externo (0,9 millones de vehículos entran o salen diariamente de Madrid), la reducción, a pesar de la crisis económica, ha sido únicamente del 5%. Aunque las políticas de movilidad tienen carácter metropolitano, se muestra que el aumento de la capacidad de la M-30 hace que se mantenga un alto uso de la misma, siguiendo

un patrón de movilidad dependiente del vehículo privado motorizado y de los combustibles fósiles, esto es, de altas emisiones. Mientras que en la almendra central el uso del transporte público es mayoritario, fuera de esta es el vehículo privado motorizado el más utilizado tanto para movimientos hacia el centro como, principalmente, en movimientos dentro de la propia corona metropolitana. Esto es reflejo de la expansión urbana, en la que las distancias entre las viviendas y los centros de trabajo, estudio u ocio son grandes como para mantener un transporte público eficaz y eficiente, por lo que la ventaja del coche es mucho mayor.

5.3. Contaminación.

Como ya hemos visto con las emisiones de los gases de efecto invernadero, el resto de residuos y emisiones contaminantes fueron en aumento hasta 2007 en el que empezaron a descender, mostrando los últimos datos una tendencia hacia el repunte de los niveles, como se ha mostrado en el caso de los residuos o algunos contaminantes atmosféricos. En todo caso, los volúmenes absolutos siguen siendo altos.

La producción de residuos es la consecuencia de un estilo de vida consumidor de recursos, principalmente no renovables, como los combustibles fósiles o las materias primas. También de una falta de preocupación por la generación de ciclos cerrados, valga la redundancia, en vez de flujos lineales y con soluciones de “final de tubería”, que tratan de minimizar el impacto de los contaminantes una vez producidos en lugar de reducir su generación. Se puede ejemplificar esta situación en el caso de los residuos sólidos urbanos, en el que el enfoque de la actuación municipal hacia la separación en origen en vez de en la reducción está llevando a un aumento reciente de la producción de residuos, con los primeros atisbos de recuperación económica. Para determinados residuos se muestra una evolución positiva en las cantidades recuperadas, como el vidrio, pero sigue existiendo una gran parte de rechazos, incluso tras la separación realizada en planta. Se genera así un volumen considerable a tratar en vertedero (dos tercios del total no recuperado) y a valorización energética (un tercio). Respecto a esta última opción, hay que advertir que el beneficio energético obtenido queda ensombrecido por las emisiones de contaminantes que provoca, requiriendo grandes inversiones de “final de tubería” para controlar la multiplicidad y peligrosidad de los contaminantes producidos al quemar productos diversos. Este doble balance ha de hacerse también con la generación del compost, procedente de la materia orgánica pues en su proceso de maduración se produce amoníaco, aunque no parece buena opción tampoco el que esos residuos acaben en la planta de valorización energética, con la consecuente emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes. Con todo, la gestión de residuos es una de las actuaciones municipales que más recursos económicos requiere, por lo que, aunque el tratamiento actual sea necesario a corto plazo, se han de promover políticas tendentes a la reducción en origen y no sólo en su posterior recogida, separación y tratamiento. Un ejemplo simbólico, quizá poco extensible para la magnitud de residuos generados en la ciudad, pero sí a modo ejemplificador, es la promoción del compostaje en huertos urbanos.

En cuanto a los contaminantes atmosféricos, la situación es mucho más preocupante, por su afección directa a la salud de la ciudadanía. Si bien las emisiones absolutas se han visto reducidas como consecuencia de la crisis, siguen siendo superiores en muchos casos a los umbrales legales o a los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los óxidos de nitrógeno, el ozono y las partículas en suspensión son los que muestran una peor evolución. Su generación se deriva principalmente del tráfico rodado, por lo que las políticas que favorezcan la circulación de vehículos motorizados son claramente insostenibles y, como ya hemos señalado anteriormente, la reforma de la M-30 es uno de los mejores ejemplos. Si

bien los efectos negativos son más esperados en las cercanías de las vías de circulación, como pasa con la contaminación acústica, en el caso de los contaminantes atmosféricos la mala situación se constata tanto en las estaciones de medición de tráfico como en las de “fondo urbano” e incluso tras el cambio de ubicación de las estaciones de medición que se realizó en 2009 como estrategia para esconder los valores negativos e intentar así cumplir con la legislación.

Otro de los contaminantes que también está relacionado principalmente con el tráfico rodado y que tiene efectos perniciosos para la calidad de vida es el ruido. Las políticas urbanísticas no han tenido en cuenta en muchas ocasiones este tipo de contaminación en el diseño de la ciudad. Como hemos indicado, a pesar de la disminución en algunos distritos de la población expuesta a este contaminante, en otros ha aumentado, debido a la política de movilidad.

La capacidad de los espacios verdes y de las especies vegetales para regular la calidad del aire, el ruido o la posibilidad de utilizar sistemas de depuración de agua basados en ciclos naturales no se han utilizado adecuadamente. Podemos comprobar que la falta de espacios verdes en las zonas donde más impacto tiene la contaminación atmosférica o el ruido indican la falta de una planificación adecuada.

5.4. Especies introducidas y eliminadas.

En el ecosistema urbano, altamente artificializado, las especies introducidas y eliminadas suelen ser abundantes. Esto se debe a que no se tienen en cuenta aspectos relacionados con la funcionalidad del ecosistema y se priman los relacionados con aspectos estéticos o económicos (mantenimiento) que normalmente llevan a diseñar unos espacios verdes que poco tienen que ver con las características climáticas o edáficas del territorio en el que se ubican. La utilización de especies exóticas y el desplazamiento de las existentes dificultan la capacidad para la provisión de servicios.

Por ello, la situación de este impulsor de cambio no se considera muchas veces tan alarmante como la del resto. Al no tener en consideración en la política municipal la conservación de la biodiversidad, no se realiza una planificación y diseño adecuado de las infraestructuras verdes municipales y por ello todo lo relacionado con el ámbito denominado Parques y jardines se considera de menor importancia. De hecho, salvo el problema de las cotorras, en la documentación consultada no se han referenciado otros de importancia. Hay que destacar que, en el caso de las cotorras, como en el de otros problemas ambientales, la capital es el principal responsable de su situación, pues en ella se encuentra el mayor número de nidos de esta especie invasora. De forma análoga, la situación de otras especies invasoras, como el ailanto, puede empeorar de no ser correctamente gestionada en la ciudad, llegando a afectar incluso a las zonas naturales bien conservadas conectadas con las zonas verdes urbanas. Las especies invasoras reducen la biodiversidad, desplazando especies locales, pero también generan una sobreexplotación de recursos, así como una concentración de problemas derivados, por ejemplo, de sus residuos o de los individuos muertos. Esa pérdida de biodiversidad puede afectar a determinados servicios como el control biológico de plagas. Es por tanto una prioridad gestionar los espacios verdes urbanos con vistas a minimizar la presencia de esas especies invasoras, siguiendo criterios de *renaturalización* de la ciudad con el fin de incrementar la biodiversidad y maximizar los servicios ecosistémicos que proveen. En este sentido, conviene mencionar el cambio en la contratación de la prestación de servicios públicos como la limpieza y conservación de espacios públicos, zonas verdes y parques y jardines mediante la externalización en base a contratos integrales y el consecuente deterioro

en la prestación de dichos servicios que se ejemplifica con la falta de mantenimiento de espacios verdes, de limpieza de las calles y que ha redundado también en impactos sociales como pérdida de empleos y de condiciones laborales en las plantillas de estos servicios.

La analogía de las especies invasoras puede utilizarse para tratar de entender el papel del vehículo privado en la ciudad. Los nuevos desarrollos urbanísticos pueden llegar a destinar hasta el 50 o 60% del suelo a viales y aparcamientos para uso, principal, del coche privado. Se ha visto reducido el espacio público para uso y disfrute de la ciudadanía, en favor de los conductores, que representan en torno a un cuarto del total de población y excluyendo a buena parte de los ciudadanos. Las consecuencias del masivo uso del vehículo privado se han descrito anteriormente en relación a su responsabilidad en la emisión de contaminantes y gases de efecto invernadero. Las políticas que favorecen al vehículo privado ahondan en la insostenibilidad que genera esta especie invasora de la ciudad.

5.5. Consumo de recursos.

El análisis del consumo de recursos como impulsor de cambio de los servicios ecosistémicos en el ecosistema urbano tiene una característica que lo diferencia completamente del resto de ecosistemas y es que el abastecimiento de materia y energía depende de los flujos externos. Como ya señalamos en el capítulo 2 el ecosistema urbano es heterótrofo, es decir, la producción autóctona de energía y recursos no alcanza para satisfacer una mínima parte de sus necesidades metabólicas. Esto afecta directamente a la resiliencia de la ciudad, por lo que, a pesar de que como impulsor de cambio tenga menos importancia que otros, en las políticas municipales puede tener un importante papel.

Ya hemos visto anteriormente que la disminución en los consumos de recursos energéticos, alimentos y agua desde 2007 puede deberse a una situación coyuntural provocada por la crisis, pero los datos de aumento en los últimos años nos indican una mala tendencia que se agravaría aún más por el problema que suponen sus altos valores absolutos.

La dependencia de los combustibles fósiles en el consumo energético, del agua de los embalses cercanos para el consumo de agua potable, de los alimentos que se cultivan en otros territorios, hacen que si queremos avanzar hacia una ciudad más resiliente tengamos que disminuir los consumos, tratar de cerrar los ciclos dentro de la ciudad e incrementar los servicios de abastecimiento.

Todo ello implica que las políticas municipales deben tener en cuenta estos aspectos y no han tenido la importancia adecuada.

Desde un ayuntamiento se pueden diseñar políticas en este sentido. En el caso de los alimentos, por ejemplo, en la ciudad de Madrid existe un buen ejemplo con los huertos urbanos. Aunque de carácter reducido, e incapaces de satisfacer las necesidades de la ciudad, los huertos urbanos suponen una oportunidad no sólo de proveer alimentos, si no de mejorar las ciudades por los beneficios que supone contar con mayores áreas verdes, además de la función educativa que poseen.

6. Propuesta metodológica para la evaluación del impacto ambiental de las políticas municipales del Ayuntamiento de Madrid por medio de la evaluación de los servicios de los ecosistemas.

6.1. Metodología de evaluación

En los capítulos 1 y 2 hemos establecido el marco conceptual con el que hemos realizado la evaluación de las políticas municipales del Ayuntamiento de Madrid. En este marco, el análisis de los impulsores de cambio se ha podido realizar al estar disponible información adecuada para medir su evolución en el periodo de tiempo considerado. Sin embargo, el gran problema al que se enfrenta el enfoque propuesto es la falta de indicadores que permitan medir la capacidad de suministro de los servicios ecosistémicos. Por ello, hemos considerado necesario establecer una propuesta metodológica que permita establecer un nuevo modelo de toma de datos para poder evaluar de forma diferente el estado ambiental de la ciudad de Madrid.

En este capítulo presentamos un listado de indicadores para medir la variación tanto en la provisión de cada uno de los servicios como de la demanda de los mismos. Para algunos indicadores sólo hemos definido indicadores de provisión o de demanda, considerando que las políticas municipales no pueden incidir en la provisión de servicios por no existir unidades suministradoras dentro de los límites municipales o en la demanda, por ser servicios para los que no existe una demanda cuantificable, como ocurre en el caso de la polinización.

Estos indicadores deben ser medidos antes, durante y después de la actuación municipal, con el fin de poder analizar los cambios producidos. La escala espacial de aplicación dependerá de la actuación municipal a evaluar, siendo el área afectada por la misma la que se deberá tener en cuenta para la recogida de datos. No hemos indicado las unidades de medición, ya que estas dependerán de la información disponible y de la escala.

6.2. Indicadores

El listado de indicadores que exponemos a continuación ha sido elaborado teniendo en cuenta las características de la estructura del ecosistema urbano del municipio de Madrid a partir de la recopilación de indicadores de servicios ecosistémicos urbanos elaborados por Gómez-Baggethun et al., 2013; Gómez-Baggethun & Barton, 2013; Maes et al., 2016 y Rocha et al., 2015. A continuación describimos los indicadores propuestos para cada uno de los tipos de servicios (abastecimiento, regulación y culturales).

6.2.1. Servicios de abastecimiento

Los indicadores para los servicios de abastecimiento son, en general, los más intuitivos y sencillos de cuantificar. En la Tabla 29 se muestran los indicadores tanto de provisión como de demanda para los servicios de abastecimiento.

Tabla 29. Indicadores de los servicios de abastecimiento. Se muestran tanto indicadores de provisión (p) como indicadores de demanda (d).

División	Grupo	Clase	Indicador
Nutrición	Biomasa	Alimentos	Producción de alimentos (p)
			Superficie de huertos urbanos y periurbanos (p)
			Consumo de alimentos (d)
	Agua	Agua superficial para consumo humano	Consumo total de agua potable (d)
Materiales	Biomasa	Fibras y otros materiales procedentes de plantas, algas y animales	Consumo de pulpa de celulosa (d)
			Consumo de madera (d)
	Agua	Agua superficial para otros usos diferentes al consumo humano	Caudal medio de agua de ríos y arroyos (p)
			Volumen medio de agua de embalses (p)
			Consumo de agua procedente de aguas superficiales (d)
			Nivel medio del acuífero (p)
		Agua subterránea para otros usos diferentes al consumo humano	Capacidad de almacenamiento de agua del suelo (p)
			Capacidad de infiltración de agua del suelo (p)
			Consumo de agua procedente de aguas subterráneas (d)
Materiales de origen abiótico	Metálicos	Volumen de materiales metálicos extraído de minas y canteras (p)	
		Consumo de materiales metálicos (d)	
	No metálicos	Volumen de materiales no metálicos extraído de minas y canteras (p)	
		Consumo de cemento (d)	
		Consumo de áridos (d)	
Energía	Fuentes de energía de origen biótico	Energía procedente de la biomasa	Energía generada a partir de residuos orgánicos (p)
			Consumo total de energía (d)*
	Fuentes de energía renovables de origen abiótico	Energía minihidráulica	Energía hidroeléctrica generada (p)
			Consumo total de energía (d)*
		Energía eólica	Energía eólica generada (p)
			Consumo total de energía (d)*
	Energía solar	Energía solar generada (p)	
		Consumo total de energía (d)*	
	Energía geotérmica	Energía geotérmica generada (p)	

División	Grupo	Clase	Indicador
			Consumo total de energía (d)*
	Fuentes de energía no renovable	Energía procedente de combustibles fósiles	Consumo total de energía (d)*

*El indicador *consumo total de energía* se mide una única vez como el cómputo total de la energía consumida en el área de estudio independientemente de donde proceda.

Fuente: Elaboración propia.

Los indicadores de provisión equivalen a la cantidad disponible del recurso. Así, la provisión de **alimentos** la medimos como la producción de alimentos dentro del ecosistema urbano o, en su defecto, como la superficie de huertos urbanos y periurbanos, debido a la dificultad de calcular el primero; la provisión de **agua** mediante el caudal de ríos y arroyos y el nivel medio y la extracción de agua del acuífero terciario detrítico; la provisión de **materiales** abióticos cuantificando el volumen extraído de materiales dentro de los límites municipales; y la provisión de **energía** mediante la energía producida por cada fuente de energía renovable. Para los servicios *agua superficial para consumo humano* y *energía procedente de combustibles fósiles* no se han definido indicadores de provisión, por no existir unidades suministradoras de estos servicios dentro de los límites municipales, por lo que las políticas del Ayuntamiento no pueden incidir sobre la provisión de estos servicios. En el primer caso, las unidades suministradoras son embalses de la Comunidad de Madrid situados fuera del municipio. En el segundo, aunque la energía procedente de los combustibles fósiles se produzca dentro de los límites municipales (como ocurre en los motores de combustión de los vehículos), los propios combustibles provienen de fuera, por lo que entendemos que son otros ecosistemas los que proveen directamente el servicio.

En cuanto a los indicadores de demanda, éstos se miden calculando la cantidad consumida por la población del área de estudio. Como indicadores de demanda tenemos por tanto el consumo de alimentos, el consumo de agua, el consumo de materiales o el consumo de energía.

6.2.2. Servicios de regulación

En la Tabla 30 se muestran los indicadores de provisión y demanda para los servicios de regulación. Los indicadores de suministro de estos servicios resultan más complejos de calcular que los de abastecimiento, en gran parte por la dificultad para acceder a los datos o la información necesaria para su cálculo, teniendo que recurrir en ocasiones a medidas indirectas del servicio. En este listado mostramos los indicadores que mejor medirían cada uno de los servicios, independientemente de la disponibilidad de datos. Aunque para algunos servicios hayamos definido un único indicador genérico hay que tener en cuenta que existen diversas formas para calcularlo. A continuación explicamos brevemente los indicadores propuestos para cada uno de los servicios.

Tabla 30. Indicadores de los servicios de regulación. Se muestran tanto indicadores de provisión (p) como indicadores de demanda (d).

División	Grupo	Clase	Indicador
Depuración y tratamiento de residuos y contaminantes, y reducción de	Depuración y tratamiento por los seres vivos	Tratamiento de residuos	Cantidad de materia orgánica compostada (p) Producción de residuos (d)
	Depuración, tratamiento y	Regulación de la calidad del aire	Contaminantes eliminados por la vegetación (p)

División	Grupo	Clase	Indicador
efectos adversos	reducción por los ecosistemas		Población expuesta a altas concentraciones de contaminantes (d)
			Generación de contaminantes atmosféricos (d)
		Depuración del agua	Filtración y fijación de nutrientes por las masas de agua (p)
			Producción de aguas residuales (d)
		Reducción del ruido	Índice de reducción de ruido (p)
			Niveles de ruido (d)
Regulación de flujos	Flujos de masa	Control de la erosión	Porcentaje de suelo con vegetación frente al suelo sin vegetación (p)
			Riesgo de erosión (d)
		Estabilización del terreno	Riesgo de desestabilización de tierras (d)
		Flujos líquidos	Regulación de la escorrentía superficial y protección contra inundaciones
	Porcentaje de suelo impermeabilizado respecto al permeable (p)		
	Reducción de escorrentía superficial (p)		
	Porcentaje de zonas verdes en áreas con riesgo de inundación (p)		
	Población expuesta a riesgos de inundación (d)		
	Áreas expuestas a riesgos de inundación (d)		
	Probabilidad de inundaciones (d)		
Regulación de las condiciones físicas, químicas y biológicas	Mantenimiento de los ciclos vitales y protección del hábitat y acervo genético	Polinización y dispersión de semillas	Diversidad y abundancia de especies polinizadoras y dispersadoras de semillas (p)
	Control de plagas y enfermedades	Control de plagas	Índice de biodiversidad (p)
			Volumen de fitosanitarios utilizados para el control de plagas (p)
	Composición y formación del suelo	Regulación de la fertilidad del suelo	Porcentaje de suelo impermeabilizado (p)
		Índice de fertilidad del suelo (p)	
	Composición atmosférica y regulación del clima	Regulación climática global por reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero	Secuestro de GEI por la vegetación (p)
			Secuestro de GEI por el suelo (p)

División	Grupo	Clase	Indicador
			Secuestro de GEI por las masas de agua (p)
			Generación de emisiones de GEI (d)
		Regulación de la temperatura local	Disminución de la temperatura por superficie de cobertura de árboles (p)
			Capacidad de enfriamiento (p)
			Población expuesta a altas temperaturas (d)

Fuente: Elaboración propia.

En la naturaleza la materia orgánica se descompone gracias a la acción de diferentes organismos descomponedores, como insectos, hongos y bacterias. El ser humano ha aprovechado este servicio ecosistémico para reciclar la materia orgánica residual (restos de podas, de alimentos...). Por ello, consideramos que una buena forma de cuantificar la provisión del servicio **tratamiento de residuos** es a través de la *cantidad de materia orgánica compostada*. Por otro lado, la demanda de este servicio la calculamos mediante el volumen total de *producción de residuos*, pudiendo así comparar cómo se sobrepasa la capacidad de provisión de este servicio.

El indicador propuesto para la provisión del servicio **regulación de la calidad del aire** es la cantidad de *contaminantes eliminados por la vegetación*. Este indicador puede calcularse a través de diferentes modelos que tienen en cuenta tanto la velocidad de deposición y las concentraciones del contaminante en cuestión como las características propias de la vegetación (cobertura, índice de área foliar, biomasa de las hojas...)⁶. Los indicadores de demanda propuestos son aquellos que indican la necesidad que tiene el ecosistema urbano de reducir los niveles de contaminación atmosférica medidos como la *población expuesta a altas concentraciones de contaminantes y la generación de contaminantes atmosféricos*.

En cuanto a la **depuración del agua** proponemos la *fijación y filtración de nutrientes por las masas de agua* como indicador de provisión. Al igual que ocurre con el servicio tratamiento de residuos, los propios organismos existentes en el agua hacen una función de depuración que el ser humano aprovecha para depurar las aguas residuales que produce. Sin embargo, a diferencia de éste, no hemos considerado como indicador de provisión la cantidad de de aguas residuales depuradas por utilizarse también tratamientos físicos y químicos. Como indicador de demanda proponemos la *cantidad de aguas residuales* producidas por el ecosistema urbano.

Para el servicio de **reducción del ruido** hemos propuesto como aglutinador de los diferentes indicadores que se pueden utilizar para medir su provisión un *índice de reducción de ruido*. Para el cálculo de este índice hay que tener en cuenta variables como la tipología de vegetación existente, que determina su capacidad para reducir el ruido, su cercanía a fuentes de ruido existentes o la climatología⁷. Como indicadores de demanda hemos definido los *niveles de ruido y la población expuesta a altos niveles de ruido*.

⁶ Para más detalle de cómo se ha calculado este indicador en otras ciudades sirvan los trabajos de Baró et al., 2014; Chaparro y Terradas, 2009; Derkzen et al., 2015; Manes et al., 2012; Rogers et al., 2015 y Silli et al., 2015.

⁷ Sirva como ejemplo la evaluación llevada a cabo por Chaparro y Terradas, 2009.

Como indicador de provisión del servicio **control de la erosión** proponemos medirlo como el *porcentaje de suelo con vegetación frente al suelo sin vegetación*, teniendo en cuenta únicamente el suelo que no está sellado e impermeabilizado. Como indicador de demanda proponemos medir el *riesgo de erosión* teniendo en cuenta la tipología de suelo y la climatológica presente en el área de estudio.

Relacionado con este último servicio tenemos la **estabilización del terreno** entendiendo que la estructura propia del suelo evita movimientos de tierras y ofrecen sustento para los ecosistemas. En este caso no hemos definido ningún indicador de provisión, pero sí de demanda, puesto que determinadas actuaciones municipales, sobre todo aquellas que conlleven movimiento de tierras pueden influir en el *riesgo de desestabilización de tierras*, que hemos utilizado como indicador de demanda.

Para la **regulación de la escorrentía superficial y la protección contra inundaciones** hemos definido varios indicadores de suministro, atendiendo a diferentes funciones de los ecosistemas relacionados con este servicio. Estos indicadores son: *capacidad de infiltración del suelo*, *porcentaje de suelo impermeabilizado respecto al permeable*, *reducción de la escorrentía superficial*, y *porcentaje de zonas verdes en áreas con riesgo de inundación*. Como indicadores de demanda proponemos la *población expuesta a riesgos de inundación*, las *áreas expuestas a riesgos de inundación* y la *probabilidad de inundaciones*.

La provisión del servicio de **polinización y dispersión de semillas** la medimos a través de la *diversidad y abundancia de especies polinizadoras y dispersadoras de semillas*, ya que son éstas las unidades suministradoras de este servicio de regulación. En este caso no hemos definido un indicador de demanda, debido a que no es una magnitud cuantificable por ser un servicio siempre necesario.

El **control de plagas** es otro servicio de regulación que depende de la biodiversidad del ecosistema urbano. Aunque puede haber matices y todo depende de las especies que compongan los espacios verdes urbanos, ya que hay especies que pueden ser más perjudiciales que beneficiosas (ver sección 3.3.4. del capítulo 3), hemos definido un *índice de biodiversidad* como indicador de la provisión de este servicio. Como indicador de demanda hemos propuesto el *volumen de fitosanitarios utilizados para el control de plagas*.

En cuanto a la **regulación de la fertilidad del suelo** proponemos dos indicadores de suministro: el primero, el *porcentaje de suelo impermeabilizado*, entendiendo que cualquier suelo sellado e impermeabilizado ha perdido completamente su fertilidad; el segundo, un *índice de fertilidad del suelo*, aplicable a los suelos no impermeabilizados. Al igual que con la polinización y dispersión de semillas no hemos definido ningún indicador de demanda.

Para el servicio de **regulación climática global por reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero** hemos establecido tres indicadores: uno de *secuestro de GEI por la vegetación*⁸, otro de *secuestro de GEI por el suelo* y otro de *secuestro de GEI por las masas de agua* al ser las tres unidades suministradoras de este servicio en el ecosistema urbano de Madrid. Como indicador de demanda proponemos utilizar la *generación de emisiones de GEI*.

La provisión del servicio **regulación de la temperatura local** puede ser cuantificada a través de un indicador de *disminución de la temperatura por superficie de cobertura de árboles* y la

⁸ Sirvan de ejemplos de cómo calcular este indicador los trabajos de Baró et al., 2014; Chaparro y Terradas, 2009 y Rogers et al., 2015.

capacidad de enfriamiento, mientras que la demanda puede medirse según la *población expuesta a altas temperaturas*.

6.2.3. Servicios culturales

En la Tabla 31 se muestran los indicadores de provisión y demanda para los servicios culturales. Al ser servicios de carácter intangible y que dependen en gran medida de las necesidades y características demográficas y culturales de la propia población de la ciudadanía madrileña, los indicadores propuestos en este apartado son medidas indirectas de la provisión y demanda de estos servicios.

Tabla 31. Indicadores de los servicios de regulación. Se muestran tanto indicadores de provisión (p) como indicadores de demanda (d).

División	Grupo	Clase	Indicador
Interacciones físicas e intelectuales con los seres vivos, los ecosistemas y los paisajes	Interacciones intelectuales y representativas	Conocimiento científico	Publicaciones, informes y estudios sobre la ecología urbana del municipio de Madrid (p)
			Consultas a publicaciones, informes y estudios sobre la ecología urbana del municipio de Madrid (d)
		Educación ambiental	Programas de educación ambiental (p)
			Participantes en los programas de educación ambiental (d)
		Patrimonio	Espacios verdes identificados como patrimonio cultural y/o natural (parques históricos y singulares) (p)
			Visitantes a lugares identificados como patrimonio cultural y o natural (d)
		Actividades recreativas	Accesibilidad a espacios verdes públicos (p)
			Superficie de espacios verdes públicos por habitante (p)
			Visitantes a los espacios verdes públicos (d)
		Beneficios estéticos	Especies valoradas por sus atributos estéticos (p)
Paisajes valorados por sus atributos estéticos (p)			
Visitantes a Espacios Naturales dentro y fuera del municipio de Madrid (d)			

Fuente: Elaboración propia.

Así, medimos la provisión de **conocimiento científico** como el número de *publicaciones, informes y estudios sobre la ecología urbana del municipio de Madrid* y como indicador de demanda el número de *consultas a publicaciones, informes y estudios sobre la ecología urbana del municipio de Madrid*.

De forma similar cuantificamos la afectación de las políticas públicas al servicio **educación ambiental**. El indicador de provisión propuesto es el número de *programas de educación ambiental* mientras que el de demanda es el número de *participantes en los programas de educación ambiental*.

En cuanto a **patrimonio**, medimos su provisión como el número y/o superficie de *espacios verdes identificados como patrimonio cultural y/o natural (parques históricos y singulares)* y la demanda como el número de *visitantes a lugares identificados como patrimonio cultural y o natural*.

Hemos establecido dos indicadores de provisión para el servicio de **actividades recreativas**: el primero es la *accesibilidad a espacios verdes públicos*, medida tanto por la distancia de la población a los mismos como su accesibilidad en términos de infraestructuras y barreras arquitectónicas; el segundo es la *superficie de espacios verdes públicos por habitante* en el área de estudio. Como indicador de demanda hemos propuesto el número de *visitantes a los espacios verdes públicos*.

Por último, la provisión del servicio **beneficios estéticos** es medido por las *especies valoradas por sus atributos estéticos* como pueden ser aves, mariposas o árboles, y los *paisajes valorados por sus atributos estéticos*. La demanda es medida como el número de *visitantes a espacios naturales dentro y fuera del municipio de Madrid*.

7. Aplicación de la evaluación de los servicios de los ecosistemas a una actuación municipal significativa: el soterramiento de la M-30.

En este capítulo hacemos una introducción de cómo aplicaríamos la propuesta metodológica para la evaluación cuantitativa de la afectación de una actuación municipal a los servicios ecosistémicos urbanos del capítulo 6. Para ello, hemos seleccionado el soterramiento de la M-30 y la creación de Madrid Río por ser una de las actuaciones más significativas en cuanto a la afectación a los impulsores directos de cambio y, por ende, a los servicios, y a su magnitud en términos espaciales, poblacionales y económicos.

En primer lugar, hemos identificado qué indicadores han podido sufrir variaciones debido a la actuación municipal y para qué momentos debemos calcular el indicador (antes, durante y después) para analizar dichas variaciones. En segundo lugar, explicamos cómo la actuación ha podido afectar a los servicios en los tres momentos y qué datos debemos tener en cuenta para cuantificar los cambios. Hacemos este análisis para cada una de las tipologías de servicios: abastecimiento, regulación y culturales.

7.1. Servicios de abastecimiento

En la Tabla 32 se muestran los indicadores que han podido sufrir variaciones antes, durante y después de la actuación. Se observa que todos los servicios han sido afectados por la actuación de soterramiento de la M-30, especialmente en cuanto a demanda, exceptuando el servicio de provisión de alimentos, el de agua superficial para consumo humano y el de fibras y otros materiales procedentes de plantas, algas y animales. En el primer caso, la actuación no afecta a la provisión del servicio puesto que en el área de afectación no existían ni se ha previsto que haya ningún huerto urbano. En cuanto al consumo de alimentos y agua potable, tampoco ha habido variaciones, puesto que la actuación no ha incluido ninguna modificación de carácter residencial, manteniéndose el número de viviendas existentes en la zona y, por tanto, la población residente y la demanda de estos servicios. Para el consumo de fibras y otros materiales ocurre lo mismo y tampoco se ha tenido en cuenta el consumo durante la obra por ser materiales de origen abiótico los que principalmente se han utilizado.

Tabla 32: Indicadores de los servicios de abastecimiento a evaluar para el soterramiento de la M-30.

Clase	Indicador	Soterramiento M-30		
		Antes	Durante	Después
Alimentos	Producción de alimentos (p)			
	Superficie de huertos urbanos y periurbanos (p)			
	Consumo de alimentos (d)			
Agua superficial para consumo humano	Consumo total de agua potable (d)			
Fibras y otros materiales procedentes de plantas, algas y animales	Consumo de pulpa de celulosa (d)			
	Consumo de madera (d)			
Agua superficial para otros usos diferentes al consumo humano	Caudal medio de agua de ríos y arroyos (p)	X	X	X
	Volumen medio de agua de embalses (p)			

Clase	Indicador	Soterramiento M-30		
		Antes	Durante	Después
	Consumo de agua procedente de aguas superficiales (d)	X	X	X
Agua subterránea para otros usos diferentes al consumo humano	Nivel medio del acuífero (p)	X		X
	Capacidad de almacenamiento de agua del suelo (p)	X		X
	Capacidad de infiltración de agua del suelo (p)	X		X
	Consumo de agua procedente de aguas subterráneas (d)	X	X	X
Metálicos	Volumen de materiales metálicos extraído de minas y canteras (p)			
	Consumo de materiales metálicos (d)		X	
No metálicos	Volumen de materiales no metálicos extraído de minas y canteras (p)			
	Consumo de cemento (d)		X	
	Consumo de áridos (d)		X	
Energía procedente de la biomasa	Energía generada a partir de residuos orgánicos (p)	X		X
	Consumo total de energía (d)*	X	X	X
Energía minihidráulica	Energía hidroeléctrica generada (p)			
	Consumo total de energía (d)*	X	X	X
Energía eólica	Energía eólica generada (p)			
	Consumo total de energía (d)*	X	X	X
Energía solar	Energía solar generada (p)			
	Consumo total de energía (d)*	X	X	X
Energía geotérmica	Energía geotérmica generada (p)			
	Consumo total de energía (d)*	X	X	X
Energía procedente de combustibles fósiles	Consumo total de energía (d)*	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

Tanto el caudal del río Manzanares y el nivel y capacidad de almacenamiento del acuífero terciario detrítico han sido modificados por la obra. En el primer caso, varias actuaciones que afectan al cauce del río (recrecimiento de cajeros, eliminación de obstáculos y dragado del río) afectan directamente al caudal del río. En cuanto al acuífero, la estructura soterrada hace un efecto barrera a la circulación del agua en el acuífero en sentido longitudinal disminuyendo, por un lado, su capacidad de almacenamiento, y provocando, por otro, una sobreelevación del nivel freático, con el consecuente aumento de riesgo de inundaciones (ver sección 7.2 de este capítulo). Para solventar estos problemas la actuación ha previsto algunas medidas correctoras de carácter técnico, como la captación de agua freática a través de colectores reconduciéndola al sistema de drenaje interior del túnel y/o la red saneamiento, con volúmenes gestionados de entre 3 y 5 millones de m³ al año, según datos de Madrid Calle 30.

En cuanto al consumo de agua se prevén variaciones, posiblemente al alza, debido al incremento en la superficie de espacios verdes y el riego asociado al proyecto de Madrid Río.

La ejecución de la obra también ha podido suponer un aumento en el consumo de agua no potable por lo que proponemos contabilizarlo.

Durante la ejecución de la obra ha sido necesaria una gran cantidad de materiales de origen abiótico procedentes de fuera del municipio por lo que proponemos calcular los indicadores de demanda durante el periodo de ejecución pero no los de provisión.

Por último, en cuanto a la energía, la actuación ha supuesto un incremento considerable del consumo energético tanto durante la ejecución como durante el funcionamiento de la M-30 una vez hecho el soterramiento. Esto se debe principalmente al incremento en el consumo de energía eléctrica debido al aumento en el número de puntos de iluminación y la necesidad de tener iluminado el túnel las 24 horas del día, y a los aparatos de ventilación entre otros. Esta circunstancia queda agravada al no haberse previsto la instalación de sistemas de producción energética propia, por ejemplo, solar o geotérmica, que además de la provisión del servicio de abastecimiento podría haber supuesto un recurso educativo para la ciudadanía. También sería conveniente estimar la variación en el consumo de energía a causa de la variación del tráfico en este tramo de la M-30.

7.2. Servicios de regulación

La Tabla 33 muestra los servicios de regulación, sus correspondientes indicadores de demanda (d) y provisión (p) y la relación de estos con los tres momentos contemplados en el estudio del impacto ambiental: antes, durante y después del soterramiento de la M-30.

Tabla 33. Indicadores de los servicios de regulación a evaluar para el soterramiento de la M-30.

Clase	Indicador	Soterramiento M-30		
		Antes	Durante	Después
Tratamiento de residuos	Cantidad de materia orgánica compostada (p)	X		X
	Producción de residuos (d)	X	X	X
Regulación de la calidad del aire	Contaminantes eliminados por la vegetación (p)	X		X
	Población expuesta a altas concentraciones de contaminantes (d)	X	X	X
	Generación de contaminantes atmosféricos (d)	X	X	X
Depuración del agua	Filtración y fijación de nutrientes por las masas de agua (p)			
	Producción de aguas residuales (d)	X	X	X
Reducción del ruido	Índice de reducción de ruido (p)	X		X
	Niveles de ruido (d)	X	X	X
	Población expuesta a altos niveles de ruido (d)	X	X	X
Control de la erosión	Porcentaje de suelo con vegetación frente al suelo sin vegetación (p)	X		X
	Riesgo de erosión (d)	X		X

Clase	Indicador	Soterramiento M-30		
		Antes	Durante	Después
Estabilización del terreno	Riesgo de desestabilización de tierras (d)		X	X
Regulación de la escorrentía superficial y protección contra inundaciones	Capacidad de infiltración del suelo (p)	X		X
	Porcentaje de suelo impermeabilizado respecto al permeable (p)	X		X
	Reducción de escorrentía superficial (p)	X		X
	Porcentaje de zonas verdes en áreas con riesgo de inundación (p)	X		X
	Población expuesta a riesgos de inundación (d)	X		X
	Áreas expuestas a riesgos de inundación (d)	X		X
	Probabilidad de inundaciones (d)	X		X
Polinización y dispersión de semillas	Diversidad y abundancia de especies polinizadoras y dispersadoras de semillas (p)	X		X
Control de plagas	Índice de biodiversidad (p)	X		X
	Volumen de fitosanitarios utilizados para el control de plagas (p)	X		X
Regulación de la fertilidad del suelo	Porcentaje de suelo impermeabilizado (p)	X		X
	Índice de fertilidad del suelo (p)	X		X
Regulación climática global por reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero	Secuestro de GEI por la vegetación (p)	X		X
	Secuestro de GEI por el suelo (p)	X		X
	Secuestro de GEI por las masas de agua (p)	X		X
	Generación de emisiones de GEI (d)	X	X	X
Regulación de la temperatura local	Disminución de la temperatura por superficie de cobertura de árboles (p)	X		X
	Capacidad de enfriamiento (p)	X		X
	Población expuesta a altas temperaturas (d)	X		X

Fuente: Elaboración propia.

En general, se muestra una mayor afectación a los servicios de regulación antes y después de la obra, mientras que durante la misma se señalan algunas influencias como en la producción de residuos, debido a todos los inertes que se derivan del vaciado del túnel; la generación de contaminantes atmosféricos, ruido y emisiones de gases de efecto invernadero, por la cantidad de maquinaria empleada; y, principalmente, por el riesgo de desestabilización de las tierras, cuya situación aparece tras la obra y no anteriormente.

Las variaciones en la provisión de los servicios de regulación dependientes de la vegetación vienen dados fundamentalmente por las modificaciones de los espacios verdes en superficie, previendo una mejoría de los mismos tras la realización de la obra. La regulación de la calidad del aire, del ruido, de la escorrentía superficial, así como de la temperatura local se ha beneficiado de la mayor superficie verde existente tras la obra, aunque no deja de ser una zona verde aposentada en un subsuelo transformado y, por lo tanto, de limitado desarrollo. Es evidente que durante la ejecución de la obra, estos servicios dependientes de la vegetación se vieron claramente limitados. En el total de la reforma de la M-30, no sólo del soterramiento, se vieron afectados cerca de 20.000 árboles, de los que casi 13.000 fueron apeados. De ellos, menos de la mitad fueron trasplantados. En la actualidad, Madrid Río mantiene la cifra de 13.000 pies. Aun así, el diseño y mantenimiento de dicha zona verde ha de seguir criterios ecológicos que fomente la provisión de estos servicios, de forma que, por ejemplo, aumentando la biodiversidad se mejore su provisión, por ejemplo, el del control de plagas, que evitaría la utilización de fitosanitarios.

Por otro lado, aquellos servicios dependientes de la estructura del suelo como, por ejemplo, el riesgo de inundaciones, no han tenido esa evolución tan positiva, viéndose afectados negativamente por el soterramiento de la M-30. Así, el riesgo de erosión y, sobre todo, de desestabilización de tierras es mayor, al depender de la infraestructura como tal y no de condiciones naturales del suelo. En general, buena parte de los servicios ha sufrido esta alteración de su ritmo “natural” pasando a depender de la gestión de la infraestructura.

Otro fenómeno a estudiar en la evolución de los servicios viene determinado por la concentración de impactos o su derivación a otras zonas. Es así que, por ejemplo, la reducción del ruido ha podido verse reducida en un área extensa gracias al soterramiento, mientras que se ha visto aumentada la contaminación acústica en las bocas de los túneles. O en el caso de la regulación de la calidad del aire, en el que habría que contemplar la disminución global de la población expuesta a contaminantes, exceptuando la cercana a los sistemas de evacuación de gases del túnel. Por otro lado, hay que considerar que muchos servicios verían incrementada su demanda por el hecho de que el soterramiento haya provocado una mayor utilización de la vía por los vehículos privados, como puede ser el caso de servicios como la regulación climática global o de la calidad del aire.

7.3. Servicios culturales

La Tabla 34 muestra los indicadores referidos a los servicios culturales que han de ser evaluados para analizar el impacto ambiental del soterramiento de la M-30.

Tabla 34: Indicadores de los servicios culturales a evaluar para el soterramiento de la M-30.

Clase	Indicador	Soterramiento M-30		
		Antes	Durante	Después
Conocimiento científico	Publicaciones, informes y estudios sobre la ecología urbana del municipio de Madrid (p)	X		X
	Consultas a publicaciones, informes y estudios sobre la ecología urbana del municipio de Madrid (d)	X		X
Educación ambiental	Programas de educación ambiental (p)	X		X

Clase	Indicador	Soterramiento M-30		
		Antes	Durante	Después
	Participantes en los programas de educación ambiental (d)	X		X
Patrimonio	Espacios verdes identificados como patrimonio cultural y/o natural (parques históricos y singulares) (p)	X		X
	Visitantes a lugares identificados como patrimonio cultural y o natural (d)	X		X
Actividades recreativas	Accesibilidad a espacios verdes públicos (p)	X		X
	Superficie de espacios verdes públicos por habitante (p)	X		X
	Visitantes a los espacios verdes públicos (d)	X		X
Beneficios estéticos	Especies valoradas por sus atributos estéticos (p)	X		X
	Paisajes valorados por sus atributos estéticos (p)	X		X
	Visitantes a Espacios Naturales dentro y fuera del municipio de Madrid (d)	X		X

Fuente: Elaboración propia.

La tabla muestra cómo los servicios culturales han de ser medidos tanto antes como después de la obra, siendo prácticamente nulo el efecto en ellos durante la obra, reconociendo la influencia negativa directa al haber dejado inutilizadas durante ese periodo las zonas verdes y áreas recreativas ya existentes en la zona. Estos espacios han aumentado y, por tanto, también los servicios culturales, aunque, como ya hemos visto anteriormente, la provisión de servicios, incluidos los culturales, no depende únicamente de la superficie de espacios verdes sino también de su diseño.

Es evidente que indicadores como los visitantes a los espacios públicos verdes han tenido una clara mejoría tras la obra, sobre todo los barrios más cercanos al soterramiento que han visto la transformación de una autovía en un parque. Sería interesante además estudiar el impacto en los espacios verdes como el Parque Lineal del Manzanares o la Casa de Campo, conectados con Madrid Río. Por un lado, podría entenderse que la mejora sufrida en el espacio ganado por el soterramiento reduce la presión sobre estos espacios, pero, por otro, esa mejora de la conectividad entre las áreas verdes, aumenta la accesibilidad a la misma y, por tanto, han aumentado en ellas también los visitantes.

8. Conclusiones y propuestas para la aplicación de la propuesta metodológica para la evaluación del impacto ambiental de las políticas municipales del Ayuntamiento de Madrid.

El equipo de investigación encargado de este estudio propone afrontar el estudio del impacto ambiental de las políticas municipales desde el marco de la **ecología urbana y la evaluación de los servicios de los ecosistemas**, entendiendo el impacto ambiental de las políticas municipales como la afección producida a la capacidad del ecosistema urbano de la ciudad de Madrid de proveer los servicios ecosistémicos necesarios para el bienestar de la ciudadanía, lo que conlleva la necesidad de provisión de los mismos por parte de otros ecosistemas.

La Agencia Europea de Medio Ambiente define las **ciudades como ecosistemas** abiertos y dinámicos que consumen, transforman y dispersan materiales y energía; se desarrollan, adaptan e interactúan con otros ecosistemas. Son altamente artificiales y dominados por una especie, la humana, pero sólo pueden sobrevivir y generar calidad de vida usando servicios básicos generados por la naturaleza y la biodiversidad de otros ecosistemas. Tales servicios, originados dentro y fuera del área urbana incluyen, entre otros, la regulación del ciclo del agua y el clima, la purificación del aire, el agua y el suelo y la producción de alimentos y otros bienes.

Entendemos por **impulsores directos de cambio** aquellos factores, naturales o inducidos por los seres humanos, que actúan de manera inequívoca sobre los procesos de los ecosistemas. Los impulsores directos considerados en este informe son:

- los cambios de usos del suelo;
- el cambio climático;
- la contaminación;
- las especies introducidas o eliminadas
- el consumo de recursos.

Las **políticas municipales** desarrolladas por el Ayuntamiento de Madrid, objeto de análisis de este informe, constituyen un **impulsor indirecto de cambio** que influye en diversos impulsores directos, afectando al funcionamiento del ecosistema urbano y su capacidad para proveer servicios. Sin embargo, hay que señalar que la existencia de otros impulsores indirectos como la demografía o la situación socioeconómica de crisis global han actuado sobre los impulsores directos en Madrid.

Existen tres tipologías principales de servicios:

- **Servicios de abastecimiento:** son las contribuciones directas al bienestar humano provenientes de la estructura biótica o geótica de los ecosistemas.
- **Servicios de regulación:** son aquellas contribuciones indirectas al bienestar humano provenientes del funcionamiento de los ecosistemas.
- **Servicios culturales:** son las contribuciones intangibles o no materiales que las personas obtienen a través de experiencias en los ecosistemas.

El **ecosistema urbano de la ciudad de Madrid** se estructura como un continuo en el espacio de elementos urbanos que abarcan espacios urbanizados y espacios naturales o naturalizados en

los cuáles se establecen una serie de flujos que son los que generan los servicios. En términos generales podríamos hablar que del total de la superficie del municipio de Madrid (604.699.216 m² según el PG97) existen 235.504.946 m² que están clasificados como no urbanizables. Esta superficie sería la que, en términos generales, suministra servicios ecosistémicos, sin olvidar que hay espacios urbanizados en los que se encontramos árboles, parques, jardines, etc., que también suministran servicios dentro del ecosistema urbano.

Para facilitar la comprensión del flujo de servicios en los ecosistemas y su relación con la estructura espacial de un ecosistema, introducimos el concepto de **Unidad Suministradora de Servicios (USS)**. En el caso de los ecosistemas urbanos, este concepto de USS tiene gran importancia, dado que son las unidades susceptibles de gestión y planificación, y por tanto las que pueden ser modificadas para mejorar la provisión de servicios ecosistémicos en la ciudad. En nuestro caso son las que nos sirven para analizar las políticas desarrolladas en Madrid: seres vivos individuales, masas de agua, estructuras de origen abiótico y espacios verdes.

Del análisis de los impulsores de cambio directos **en el funcionamiento ecológico de la ciudad de Madrid** podemos concluir:

- Las políticas municipales de la última década han promovido nuevos desarrollos urbanísticos **incrementando la superficie municipal urbanizada** y ocupando extensiones de suelo que anteriormente no lo estaban. Estos cambios en el uso del suelo provocan una reducción de la capacidad del ecosistema urbano para suministrar servicios e incrementan la demanda de servicios de regulación y abastecimiento.
- El **incremento de zonas verdes** se ha producido principalmente por la creación de nuevos parques que se han incorporado a la gestión municipal. Aunque en algunos distritos periféricos como Villaverde, Villa de Vallecas y Hortaleza, la superficie de zonas verdes se ha incrementado considerablemente, en el resto el crecimiento ha sido muy bajo o, incluso, negativo.
- Las proyecciones climáticas calculadas prevén que **las temperaturas máximas y mínimas, la duración de las olas de calor y el nº de noches cálidas se incrementarán**, mientras que habrá una reducción de las precipitaciones totales, del nº de días de lluvia, de la escorrentía y de la evapotranspiración, a la vez que se incrementará la duración de los periodos secos. Los datos recogidos confirman estas afecciones a la calidad de vida de la ciudadanía.
- Las emisiones de gases de efecto invernadero han disminuido, pero **la ciudad de Madrid sigue teniendo una cantidad de GEI directas e indirectas muy elevadas**. El transporte por carretera y el sector residencial, comercial e institucional (RCI) suponen entre el 59% y el 69% del total de emisiones directas de GEI. Es destacable el importante aumento de las emisiones de compuestos fluorados, especialmente HFCs, asociado a una mayor utilización de hidrocarburos halogenados en los equipos de refrigeración, aire acondicionado y extinción de incendios. En cuanto a las emisiones indirectas, el sector RCI supone más del 80% del total mientras que la industria ha pasado de suponer el 12% en 2006 al 6% en 2014.
- Los niveles de emisión de contaminantes y residuos en la ciudad de Madrid han disminuido durante el periodo de tiempo analizado, aunque hay que señalar que siguen siendo muy elevados. En este sentido, **aunque la evolución de los niveles de contaminación atmosférica haya sido en general positiva, todavía sigue siendo uno de los principales problemas ambientales y de salud pública** que merece especial atención. Algunos compuestos como los óxidos de nitrógeno (NO_x), las partículas en

suspensión (PM₁₀ y PM_{2,5}) y el ozono troposférico (O₃) exceden los límites impuestos por la legislación y recomendados por organizaciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS).

- Los ecosistemas urbanos como la ciudad de Madrid son totalmente dependientes del exterior para su abastecimiento, por lo que el consumo de recursos que se haga dentro del municipio ejercerá una presión en otros ecosistemas. **La disminución observada en el consumo de agua, energía, alimentos o materias primas se debe a una situación concreta de crisis** y se observa que en el último año se ha producido un estancamiento e incluso un aumento de alguno de ellos, lo que hace prever que pueda volver a incrementarse en los próximos años.

Como principales fuentes de información para seleccionar las políticas y actuaciones con posibles impactos ambientales en la ciudad de Madrid se han utilizado los informes de seguimiento de los **programas operativos de gobierno** (2007-2011 y 2011-2015) así como las Memorias de 2011 a 2014 del Observatorio de la Ciudad. A pesar de la influencia más difusa que tienen algunas áreas de acción, como las de *Desarrollo Económico y Tecnológico, Internacionalización o Turismo*, las actuaciones que más directamente se relacionan con el análisis propuesto para este informe se encuentran en las áreas de acción de *Espacios públicos, Medio ambiente, Movilidad y Urbanismo*. En menor medida se han considerado otras acciones con cierta influencia en el impacto ambiental en los servicios ecosistémicos como las de *Vivienda, Relación con la ciudadanía y Administración de la ciudad*:

- En el área de **Espacios públicos**, los impulsores de cambio más afectados por las acciones desarrolladas son la contaminación y el cambio climático en la medida en que se refieren a los viales que usarán tanto peatones como vehículos. En menor medida modifican los usos del suelo (en proyectos de urbanización de nuevas zonas o en la adecuación de nuevas áreas infantiles o de mayores) y afectan al consumo de recursos, como es el caso de las acciones de pavimentación y las que conllevan un incremento de la movilidad peatonal o en transporte público al promover el abandono del uso del vehículo y disminuir así el consumo de combustible.
- En el área de acción de **Medio Ambiente**, se destaca cómo el impulsor de cambio más afectado es el de contaminación (atmosférica, acústica y de aguas), al llevarse a cabo actuaciones tanto de control de la misma como de prevención y corrección. En una visión positiva, las actuaciones relacionadas con los parques, jardines y zonas verdes también influyen en este impulsor, al promover servicios de regulación tales como la reducción del ruido o la regulación de la calidad del aire. El cambio climático está también bastante relacionado con las actuaciones realizadas desde el área de medio ambiente, como aquellas relacionadas con la reducción de emisiones contaminantes, pero también las relacionadas con la gestión y tratamiento de residuos. Los cambios de usos del suelo y las especies introducidas o eliminadas están principalmente relacionados con las actuaciones en los parques, jardines y zonas verdes, mientras que el impulsor consumo de recursos se relaciona principalmente con las actuaciones de gestión de residuos y de consumo energético.
- En el área de **Movilidad y Transporte**, los impulsores más afectados son especialmente los de cambio climático y contaminación, por la relación de la movilidad con la emisión tanto de gases de efecto invernadero como de otros contaminantes perjudiciales para la salud humana, tales como los óxidos de nitrógeno (NO_x) o el ozono troposférico (O₃), que aunque no es emitido directamente por los vehículos se forma a partir de otros gases emitidos.

- El área de **Urbanismo**, a pesar de su poca relevancia presupuestaria, o de la falta de detalle en las actuaciones, es el de mayor impacto ambiental, en la medida en que afecta en su gran mayoría a la totalidad de los impulsores de cambio. Un nuevo desarrollo urbanístico supone un evidente cambio de uso de suelo, y su localización periférica hace que aumente la contaminación, las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo general de recursos, tanto en su propia construcción como, principalmente, en su uso posterior. Quizá el impulsor menos afectado es el de la introducción de especies o eliminación de éstas, aunque en la medida que ocupan espacios generalmente rústicos o naturales, se eliminan aquellas con las que ya contaba ese espacio.

En el capítulo 5 se han resumido los **efectos de las políticas municipales sobre los impulsores del cambio**, lo que representa el elemento central de la evaluación realizada:

- La ciudad de Madrid ha sufrido una fuerte transformación en los usos del suelo, fruto de la **expansión urbana**. El binomio que alimenta la expansión urbana es la construcción de infraestructuras de transporte y la construcción de nuevos desarrollos urbanísticos. De ahí que la reforma de la M-30 y los nuevos desarrollos urbanísticos (PAUs) sean las actuaciones políticas más significativas desde el punto de vista del impacto ambiental, como se puede ver en el capítulo 4, que sirven de reflejo de la orientación política de los últimos años. En el desarrollo de esas infraestructuras y zonas urbanizadas no se ha mantenido la capacidad del ecosistema urbano en la provisión de servicios, teniendo en cuenta una menor afección a la estructura del suelo, la incorporación de espacios de carácter natural, el mantenimiento de los ciclos del agua y de la materia, la conservación o mejora de la biodiversidad urbana, etc.
- Los aspectos relacionados con el **cambio climático** (isla de calor, sequías, episodios de precipitaciones extremas) no se han contemplado convenientemente a la hora de diseñar los nuevos espacios urbanos, ni ha existido una política específica destinada a atemperar los efectos de este fenómeno en la que se tuvieran en cuenta elementos relacionados con el diseño natural del espacio público. Al mismo tiempo, no ha existido una política clara de limitación de las emisiones de GEI, como se ha podido ver en las políticas de movilidad o urbanismo. A pesar de la reducción de las emisiones, las magnitudes de las mismas siguen siendo elevadas. Dado que esa disminución en las emisiones puede achacarse a la crisis, una vez haya visos de mejora económica, al no cambiar el modelo, puede volver a reproducirse el mismo patrón de emisiones.
- Como ya hemos visto con **las emisiones de los GEI, el resto de residuos y emisiones contaminantes** fueron en aumento hasta 2007 en el que empezaron a descender, mostrando los últimos datos una tendencia hacia el repunte de los niveles, como se ha mostrado en el caso de los residuos o algunos contaminantes atmosféricos. En todo caso, los volúmenes absolutos siguen siendo altos, por lo que las políticas de movilidad y urbanismo han de dirigirse a minimizar el uso del vehículo privado y no a su fomento como hasta ahora.
- En el ecosistema urbano, altamente artificializado, las **especies introducidas y eliminadas** suelen ser abundantes. Esto se debe a que no se tienen en cuenta aspectos relacionados con la funcionalidad del ecosistema y se priman los relacionados con aspectos estéticos o económicos (mantenimiento) que normalmente llevan a diseñar unos espacios verdes que poco tienen que ver con las características climáticas o edáficas del territorio en el que se ubican. No ha existido una política municipal cuyo

objetivo fuese la conservación de la biodiversidad y no se ha realizado una planificación y diseño adecuado de las infraestructuras verdes municipales.

- La dependencia de los combustibles fósiles en el consumo energético, del agua de los embalses cercanos para el consumo de agua potable, de los alimentos que se cultivan en otros territorios, hacen que si queremos avanzar hacia una ciudad más resiliente tengamos que disminuir los **consumos**, tratar de cerrar los ciclos dentro de la ciudad e incrementar los servicios de abastecimiento. Todo ello implica que las políticas municipales debían haber tenido en cuenta estos aspectos y sin embargo no han tenido la relevancia adecuada.

En los capítulos 1 y 2 se ha establecido el **marco conceptual** con el que hemos realizado la evaluación de las políticas municipales del Ayuntamiento de Madrid. Creemos que este enfoque es válido tanto para la evaluación de las políticas como para el diseño de nuevas políticas que cubran los déficits existentes.

En este marco, el análisis de los impulsores de cambio se ha podido realizar al estar disponible información adecuada para medir su evolución en el periodo de tiempo considerado. Sin embargo, el gran problema al que se enfrenta el enfoque propuesto es la **falta de indicadores que permitan medir la capacidad de suministro de los servicios ecosistémicos**. Por ello, hemos considerado necesario establecer una **propuesta metodológica** que permita establecer un nuevo modelo de toma de datos para poder evaluar de forma diferente el estado ambiental de la ciudad de Madrid.

En el capítulo 6 se presenta un listado **de indicadores para medir la variación tanto de la provisión de cada uno de los servicios como la demanda de los mismos** para la ciudad de Madrid. Para algunos indicadores sólo hemos definido indicadores de provisión o de demanda, considerando que las políticas municipales no pueden incidir en la provisión de servicios por no existir unidades suministradoras dentro de los límites municipales o en la demanda, por ser servicios para los que no existe una demanda cuantificable, como ocurre en el caso de la polinización.

Estos indicadores deben ser medidos **antes, durante y después** de la actuación municipal, con el fin de poder analizar los cambios producidos. La escala espacial de aplicación dependerá de la actuación municipal a evaluar, siendo el área afectada por la misma la que se deberá tener en cuenta para la recogida de datos. No hemos indicado las unidades de medición, ya que estas dependerán de la información disponible y de la escala.

Finalmente, en el último capítulo, hacemos una introducción de cómo aplicaríamos la propuesta metodológica para la evaluación cuantitativa de la afectación de una actuación municipal a los servicios ecosistémicos urbanos. Para ello, hemos seleccionado el **soterramiento de la M-30 y la creación de Madrid Río** por ser una de las actuaciones más significativas en cuanto a la afectación a los impulsores directos de cambio y, por ende, a los servicios, y a su magnitud en términos espaciales, poblacionales y económicos.

En primer lugar, hemos identificado qué indicadores han podido sufrir variaciones debido a la actuación municipal y para qué momentos debemos calcular el indicador (antes, durante y después) para analizar dichas variaciones. En segundo lugar, explicamos cómo la actuación ha podido afectar a los servicios en los tres momentos y qué datos debemos tener en cuenta para cuantificar los cambios. Hacemos este análisis para cada una de las tipologías de servicios: abastecimiento, regulación y culturales. La actuación **ha afectado principalmente a los servicios de regulación y culturales y, en menor medida, a los servicios de abastecimiento**,

sobre todo en lo que se refiere a su demanda. Una evaluación en profundidad cuantificando cada uno de los indicadores propuestos es necesaria para conocer la magnitud de la afección del soterramiento de la M-30 y la creación de Madrid Río a los servicios ecosistémicos de la ciudad de Madrid.

9. Recursos de información.

Agencia Europea de Medio Ambiente (2016). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). <http://cices.eu/>

Ayuntamiento de Madrid (2006). *Madrid en el concierto de las grandes ciudades*. Observatorio Económico.

Ayuntamiento de Madrid (2011). *Informe de seguimiento del Programa Operativo de Gobierno 2007- 2011*. Observatorio de la Ciudad. Dirección General de Calidad y Atención al Ciudadano. Área de Gobierno de Hacienda y Administración Pública.

Ayuntamiento de Madrid (2011). *Mapa Estratégico de Ruido de Madrid*.

Ayuntamiento de Madrid (2012). *Informe Final del Programa Operativo de Gobierno 2007-2011*. Observatorio de la Ciudad. Dirección General de Calidad y Atención al Ciudadano. Área de Gobierno de Hacienda y Administración Pública.

Ayuntamiento de Madrid (2012). *Memoria 2011 del Observatorio de la Ciudad*. Dirección General de Calidad y Atención al Ciudadano. Área de Gobierno de Hacienda y Administración Pública.

Ayuntamiento de Madrid (2013). *Memoria 2012 del Observatorio de la Ciudad*. Dirección General de Calidad y Atención al Ciudadano. Área de Gobierno de Hacienda y Administración Pública.

Ayuntamiento de Madrid (2013). *Memoria de actividades de la D. G. de zonas verdes, limpieza y residuos 2013*. Dirección General de Zonas Verdes, Limpieza y Residuos.

Ayuntamiento de Madrid (2013). *Revisión del Plan General. Informe de Sostenibilidad Ambiental. Tomo I*. Dirección General del Plan General. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda.

Ayuntamiento de Madrid (2014). *Memoria 2013 del Observatorio de la Ciudad*. Dirección General de Calidad y Atención al Ciudadano. Área de Gobierno de Hacienda y Administración Pública.

Ayuntamiento de Madrid (2015). *Balance provisional del Programa Operativo de Gobierno 2011- 2015*. Observatorio de la Ciudad. Dirección General de Calidad y Atención al Ciudadano. Área de Gobierno de Hacienda y Administración Pública.

Ayuntamiento de Madrid (2015). *Memoria 2014 del Observatorio de la Ciudad Cierre del Mandato mayo 2011- mayo 2015*. Dirección General de Calidad y Atención al Ciudadano. Área de Gobierno de Participación, Transparencia y Gobierno Abierto.

Ayuntamiento de Madrid (2015). *Memoria de Actividades del Parque Tecnológico de Valdemingómez 2015*. Dirección General del Parque Tecnológico de Valdemingómez. Área de Medio Ambiente y Movilidad.

Ayuntamiento de Madrid (2016). *Balance energético del municipio de Madrid. Año 2014. ubdirección General de Energía y Cambio Climático*. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad.

Ayuntamiento de Madrid (2016). *Inventario de emisiones contaminantes a la atmósfera en el municipio de Madrid 2014. Documento 1 - Resumen de las emisiones en el periodo 1999-2014*. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad.

Ayuntamiento de Madrid (2016). *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del municipio de Madrid. Año 2014*. Subdirección General de Energía y Cambio Climático. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad.

Ayuntamiento de Madrid. Portal web de Estadística.
<http://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Estadistica?vgnnextchannel=8156e39873674210VgnVCM1000000b205a0aRCRD>

Ayuntamiento de Madrid. Portal web de Datos Abiertos. <http://www-2.munimadrid.es/CSE6/jsps/menuBancoDatos.jsp>

Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D. J., y Terradas, J. (2014). Contribution of Ecosystem Services to Air Quality and Climate Change Mitigation Policies: The Case of Urban Forests in Barcelona, Spain. *AMBIO*, 43(4), 466-479.

Blanco Montero, J. (2016). *Los tiempos modernos del Ayuntamiento de Madrid*. Madrid : LiberFactory Ediciones.

Canal de Isabel II. El ciclo integral del agua. <http://www.canalciclointegraldelagua.es/>

Canosa Zamora, I., y García Carballo, A. (2012). *La construcción de la Marca Madrid*. Cuadernos Geográficos, Vol. 51 (2012) Pp.195-221.

Carpintero, Ó., Sastre, S., Lomas, P., Arto, I., Bellver, J., Delgado, M., ... Villasante, S. (2015). *El metabolismo económico regional español*. Madrid: FUHEM Ecosocial.

Chaparro, L., y Terradas, J. (2009). *Ecological Services of Urban Forest in Barcelona* (p. 103). Barcelona: Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals. Universitat Autònoma de Barcelona.

Córdoba Hernández, R. (2015). *Nulidad parcial del PGOU 97. Implicaciones de las sentencias del Tribunal Superior de Justicia y del Tribunal Supremo para la ciudad de Madrid*. Cuaderno de Investigación Urbanística nº 100 – mayo / junio 2015, pp. 15-18.

De la Fuente, R. y Velasco, M. (2012) *La política urbana en Madrid: un relato provisional*. Geopolítica(s), vol. 3, nº 1, p. 35-59.

Delgado Jiménez, A. (2011). *Planificar en crisis. La transformación de la Planificación urbanística en relación con la crisis: la región metropolitana de Madrid, 1985-2007*. Revista Ciudades, 14 (1) 2011: Pp. 159-187.

Derkzen, M. L., van Teeffelen, A. J. A., y Verburg, P. H. (2015). REVIEW: Quantifying urban ecosystem services based on high-resolution data of urban green space: an assessment for Rotterdam, the Netherlands. *Journal of Applied Ecology*, 52(4), 1020-1032.

Ecologistas en Acción (2016). *La calidad del aire en la ciudad de Madrid en 2015*.

Erhard, M., Teller, A., Maes, J., Meiner, A., Berry, P., Smith, A., ... Christiansen, T. (2016). *Mapping and assessment of ecosystems and their services. Mapping and assessing the condition of Europe's ecosystems: Progress and challenges*. Bruselas: Publications Office of the European Union.

- European Environment Agency (2010). *10 messages for 2010. Urban ecosystems*. Luxemburgo: Office for Official Publications of the European Union.
- European Environment Agency (2016). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). <http://cices.eu/>
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España. (2011). *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España. Conservación de los Servicios de los Ecosistemas y la Biodiversidad para el Bienestar Humano. Informe Final*. Madrid: Fundación Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- Fernández, F., Rasilla, D., y Allende, F. (2013). La isla de calor en Madrid durante los períodos cálidos: evaluación de impactos y propuestas de actuación. En J. Vinuesa, D. Porras, J. M. de la Riva, y F. Fernández, *Reflexiones a propósito de la revisión del Plan General de Madrid* (pp. 229-254). Madrid: Grupo TRyS, Universidad Autónoma de Madrid.
- Gómez-Baggethun, E., y Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235-245.
- Gómez-Baggethun, E., Gren, Å., Barton, D. N., Langemeyer, J., McPhearson, T., O'Farrell, P., ... Kremer, P. (2013). Urban Ecosystem Services. En T. Elmqvist, M. Fragkias, J. Goodness, B. Güneralp, P. J. Marcotullio, R. I. McDonald, ... C. Wilkinson (Eds.), *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities* (pp. 175-251). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Maes, J., Zulian, G., Thijssen, M., Castell, C., Baró, F., Ferreira, A. M., ... Teller, A. (2016). *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Urban Ecosystems. 4th Report*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
- Manes, F., Incerti, G., Salvatori, E., Vitale, M., Ricotta, C., & Costanza, R. (2012). Urban ecosystem services: tree diversity and stability of tropospheric ozone removal. *Ecological Applications*, 22(1), 349-360. <https://doi.org/10.1890/11-0561.1>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2003). *Ecosystems and Human Wellbeing. A Framework for Assessment*. Washington, D.C., USA: Island Press.
- Molina, B., Postigo, J. L., Román Muñoz, A., & del Moral, J. C. (Eds.). (2016). *La cotorra argentina en España. Población reproductora en 2015 y método de censo*. Madrid: SEO/Birdlife.
- Morata, A. (2014). *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR4*. Madrid: Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Observatorio Metropolitano (2007). *Madrid: ¿la suma de todos? Globalización, territorio, desigualdad*. Madrid: Traficantes de Sueños.
- Onaindia, M., Madariaga, I., Palacios, I., & Arana, X. (2015). *Naturaleza y bienestar en Bizkaia. La Evaluación de los Servicios de los Ecosistemas; investigación aplicada a la gestión*. Leioa, España: Universidad del País Vasco (UPV/EHU).
- Rocha, S. M., Zulian, G., Maes, J., Thijssen, M., European Commission, & Joint Research Centre. (2015). *Mapping and assessment of urban ecosystems and their services*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
- Rogers, K., Sacre, K., Goodenough, J., y Doick, K. (2015). *Valuing London's urban forest. Results of the London i-Tree Eco Project*. Londres, Reino Unido: Treeconomics London.

Silli, V., Salvatori, E., y Manes, F. (2015). Removal of airborne particulate matter by vegetation in an urban park in the city of rome (Italy): an ecosystem services perspective. *Annali di Botanica*, 5, 53–62.

Tapia, C., Abajo, B., Feliu, E., Fernández, J. G., Padró, A., y Castaño, J. (2015). *Análisis de vulnerabilidad ante el cambio climático en el municipio de Madrid*. Madrid: Dirección General de Sostenibilidad y Control Ambiental. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad. Ayuntamiento de Madrid.

UK National Ecosystem Assessment (2011). *The UK National Ecosystem Assessment Technical Report*. Cambridge: UNEP-WCMC.