

Hoja de Ruta Madrid 2030

Fundación Renovables

V. 18/12/2017



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
2. ANTECEDENTES	10
2.1. El marco europeo	11
2.2. El entorno urbano: ciudades con futuro	11
3. ANÁLISIS DE LOS CONSUMOS Y SUMINISTROS ENERGÉTICOS	13
3.1. Categorías de suministros energéticos	15
3.2. Gasóleo C	17
3.3. Gas natural	21
3.4. Energía eléctrica	24
3.5. Consumos de energía final por tipologías de edificios y cargas energéticas	32
3.6. Demanda y consumos energéticos, energía útil, final y primaria	39
4. ANÁLISIS DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO EN EDIFICIOS MUNICIPALES	43
4.1. Radiación solar en Madrid	43
4.2. Datos de cubiertas y azoteas	44
4.3. Superficie aprovechable en edificios	46
4.4. Potencia instalable	49
4.5. Producción fotovoltaica	51
4.6. Aprovechamiento de otros espacios municipales	54
4.7. Potencial fotovoltaico y gestión de la producción	56
5. ANÁLISIS ORGANIZATIVO	63
6. RETOS Y OPORTUNIDADES DE MEJORA	65
6.1. Organización y nuevos roles dentro de la gestión energética municipal	65
6.2. Oportunidades de ahorro energético	73



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

7. PLAN DE ACTUACIÓN: HOJA DE RUTA 2030	80
7.1. Escenario de Eficiencia Energética a 2030 EE2030	80
7.2. Evaluación económica del Escenario de Eficiencia 2030	83
7.3. Escenario de Autosuficiencia Energética a 2030. EA-2030	85
7.4. Evaluación económica de los escenarios de potencial fotovoltaico Madrid 2030	87
7.5. Escenario alobal de sostenibilidad energética Madrid 2030	92



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Índice de Tablas

Tabla 3- 1 . Energia final y energia primaria total y por suministros. 2014-2016 14
Tabla 3-2. Factores de conversión del mix energético municipal analizado. 2014-2016 14
Tabla 3-3. Consumos energéticos totales analizados de 900 edificios. (Energía final, kWh, por
año, 2016)14
Tabla 3-4 . Distribución de los consumos por fuentes energéticas para cada tipología y su
contribución al consumo total. Datos de 201616
Tabla 3-5. Edificios con suministro de gasóleo C. Año 2016
Tabla 3-6. Evaluación de las vías de transición energética desde el gasóleo C hacia suministros
energéticos más sostenibles
Tabla 3-7. Datos de CUPS de gas natural extraídos de los documentos facilitados21
Tabla 3-8. Coeficiente de pérdidas estimados según suministro o acceso. (En % de la energía
consumida en cada periodo). Orden ITC/3801/2008 de 26 de diciembre25
Tabla 3-9. Datos de CUPS de energía eléctrica extraídos de los documentos facilitados25
Tabla 3-10. Curvas de carga recibidas por cada tipología
Tabla 3-11. Distribución de consumos por cargas y tipología de edificio33
Tabla 3-12. IDEn: consumo energético por unidad de superficie en edificios Administrativos.34
Tabla 3-13. IDEn: consumo energético por unidad de superficie en edificios Culturales35
Tabla 3-14. IDEn: consumo energético por unidad de superficie en edificios Deportivos 36
Tabla 3-15. IDEn: consumo energético por unidad de superficie en edificios Educativos37
Tabla 3-16. IDEn: consumo energético por unidad de superficie en edificios Otros37
Tabla 3-17 . IDEn: consumo energético por unidad de superficie en edificios de Servicios
Sociales38
Tabla 3-18 . Propuesta de IDEn: consumo energético por unidad de superficie en edificios de
Seguridad38
Tabla 3-19. Energía final y energía primaria total y por suministros. 2014-201640
Tabla 3-20 . Factores de conversión del mix energético municipal analizado. 2014-2016 40
Tabla 3- 21 . IDEn Consumos de energía primaria por metro cuadrado (Mediana) kWh/m^241
Tabla 4-1. Valores de radiación global anual en Madrid. (Estimación a partir de datos de las
estaciones terrestres)43
Tabla 4-2 . Superficies y edificios contabilizados44
Tabla 4-3 . Datos de superficie de azoteas y cubiertas analizadas y estimadas 44
Tabla 4- 4 . Estimación de espacios disponibles en fachadas
Tabla 4-5 . Superficie aprovechable para sistemas de autoconsumo fotovoltaicos en edificios
municipales49
Tabla 4-6 . Superficie de azotea para instalar un kW en función de la eficiencia y el CGR50
Tabla 4-7. Estimación de potencia fotovoltaica instalable en edificios (autoconsumo)51
Tabla 4-8. Productividades tipo según emplazamientos53
Tabla 4-9. Estimación de la producción fotovoltaica en edificios municipales. (En MWh) 53
$Tabla\ 4-\ 10\ .\ Distribución\ del\ potencial\ fotovoltaico\ en\ función\ de\ la\ tipología\ de\ edificios\ 53$
Tabla 4- 11 . Cobertura fotovoltaica56
Tabla 4- 12 . Evaluación de instalaciones con excedente
Tabla 5-1 Actores municipales implicados en la gestión o toma de decisiones en el ámbito
energético63



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Tabla 6-1. Principales medidas de ahorro energético propuestas	76
Tabla 6-2. Parque de calderas de gas natural. (Tarifas 3.3 y 3.4)	77
Tabla 7-1. Rango de ahorro en iluminación	80
Tabla 7-2. Rango de ahorro en climatización	81
Tabla 7-3. Rango de ahorros en ACS.	81
Tabla 7-4. Rango de ahorros en otros	81
Tabla 7-5 . Escenarios de Eficiencia a 2030	
Tabla 7-6. Escenario de Eficiencia por tipología y total a 2030	82
Tabla 7-7 Coste anual de suministros y emisiones 2016-2030	83
Tabla 7-8 Estimación de costes por m2 de las actuaciones de eficiencia energética	83
Tabla 7-9 Planificación presupuestaria anual del Escenario 2030 de Eficiencia Energética	84
Tabla 7-10 . Escenario de Autosuficiencia a 2030 por tipologías y total	85
Tabla 7-11 Evaluación de espacios y potencial fotovoltaico necesarios para alcanzar el 100)% de
autosuficiencia	86
Tabla 7-12 Estructura del coste actual del Wp instalado	88
Tabla 7-13 Escenarios de autosuficiencia con autoconsumo en edificios y presupuestos 203	30.89
Tabla 7-14 Escenarios de autosuficiencia en otros espacios y presupuestos 2030	
Tabla 7-15 Planificación del Sistema de Gestión Energética	96
Tabla 7-16 Planificación de herramientas de monitorización y análisis	97
Tabla 7-17 . Planificación de actuaciones en Iluminación	
Tabla 7-18 Planificación de las actuaciones en climatización	
Tabla 7-19 Planificación de las actuaciones en ACS	99
Tabla 7-20 Planificación de las actuaciones en Otros	
Tabla 7-21 Escenario de Autosuficiencia EA-2030	. 100
Tabla 7-22 Planificación del potencial fotovoltaico a lo largo del periodo 2018- 2030	
Tabla 7-23 Actuaciones específicas dentro del EA-2030	101
Tabla 7-24 Actuaciones en monitorización de los sistemas de generación	102
Tabla 7-25. Actuaciones en Operación y mantenimiento	. 103



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Índice de Ilustraciones

llustración 2-1. Evolución de la temperatura global del planeta. (Fuente: NASA)1	
Ilustración 3-1. Distribución de superficie por categorías1	3
Ilustración 3-2. Contribución de los diferentes suministros energéticos al consumo total entr	·e
2014-20161	5
Ilustración 3-3. Distribución del consumo de energía útil total por tipologías. Año 2016 1	7
Ilustración 3-4. Distribución de las tarifas de gas natural existentes23	2
Ilustración 3-5. Contribución del gas natural al consumo energético total de cada tipología	a
Año 20162	2
Ilustración 3-6 Contribución de cada tipología al consumo total de gas natural. Año 2016 2	3
Ilustración 3-7 . Distribución de rangos de consumo anual de gas natural por tipologías. Añ	
2016	
Ilustración 3-8. Distribución de las tarifas eléctricas existentes	5
Ilustración 3-9. Tarifas eléctricas por tipologías de edificios20	
Ilustración 3- 10 . Distribución de potencias máximas contratadas 2	7
Ilustración 3-11. Contribución de la electricidad al consumo energético total de cada tipología	a.
Año 20162	8
Ilustración 3-12. Contribución de cada tipología al consumo total de electricidad. Año 2016. 28	8
Ilustración 3-13. Distribución de rangos de consumo anual de electricidad por tipologías. Añ	C
201629	9
Ilustración 3-14. Curvas de carga horaria de una semana (de domingo a sábado) del mes d	e
febrero de un edificio Administrativo	J
Ilustración 3-15. Curvas de carga horaria de una semana (de domingo a sábado) del mes d	
abril de un edificio Administrativo	1
Ilustración 3-16. Curvas de carga horaria de una semana (de domingo a sábado) del mes d	e
junio de un edificio Administrativo	1
Ilustración 3-17. Rangos de consumo total anual de energía final por tipologías3	2
Ilustración 3- 18 . Demanda y consumo: diagrama del flujo de energía primaria final y útil 3 !	9
Ilustración 3-19. Distribución de suministros al total de energía primaria. 201640	0
Ilustración 4-1. Distribución mensual de la radiación global en Madrid4	3
Ilustración 4-2. Distribución de edificios, consumos energéticos y azoteas disponibles po) r
tipología4	
Ilustración 4-3. Distribución del espacio aprovechable en azoteas por tipologías4	6
Ilustración 4-4. Análisis de la distribución de espacios aprovechables por tipologías4	7
Ilustración 4-5. Pérdidas de productividad anual (%) en función de la orientación e inclinación	1
(Cálculo realizado con el PVGis, para Madrid)5	2
Ilustración 4-6. Curva de carga semanal en un edificio Administrativo5	6
Ilustración 4-7. Curva de carga semanal en un edificio Deportivo5	
Ilustración 4-8. Perfil de consumo y generación en enero60	O
Ilustración 4-9. Perfil de consumo y generación en julio	1
Ilustración 6-1. Distribución de consumo de energía final. Datos 2016	3
Ilustración 6-2. Contribución de los diferentes suministros por tipologías	4
Ilustración 6-3. Distribución del consumo por tipo de cargas y tipología. 201674	4
Ilustración 7-1. Presupuesto anual y evolución del Escenario de Eficiencia Madrid 2030 84	4



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Ilustración 7-2. Estructura del coste de instalación fotovoltaica sin impuestos88
Ilustración 7-3. Evolución del coste estimado de instalación de <10 kWp sobre azoteas o
cubiertas (impuestos incl.)
Ilustración 7-4 . Presupuesto anual para instalaciones fotovoltaicas de autoconsumos en
edificios municipales90
Ilustración 7-5 . Presupuesto anual para el Escenario de Autosuficiencia en otros espacios
municipales91
Ilustración 7-6 . TIR en función del precio FV para distintos escenarios consumo-venta de la
energía autogenerada92
Ilustración 7-7. Comparativa de la rentabilidad del almacenamiento frente a la venta de la
energía autogenerada93



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

1. Introducción

El presente trabajo es fruto de la colaboración establecida entre el *Ayuntamiento de Madrid* y la *Fundación Renovables*, que se plasmó el 23 de noviembre de 2016 mediante la firma de un contrato de servicios para desarrollar el proyecto "El Ayuntamiento de Madrid y la Autosuficiencia Energética", con el objetivo principal de evaluar y planificar cómo cubrir el consumo energético del parque inmobiliario del Ayuntamiento de Madrid bajo criterios de eficiencia y de autosuficiencia.

La introducción de criterios de sostenibilidad energética en la cobertura de la demanda de energía implica actuar en una doble dirección: primero, como paso fundamental, en la limitación de la demanda de energía y en la reducción de los consumos energéticos mediante la gestión activa de la demanda bajo criterios de eficiencia y, segundo, en la cobertura de las necesidades energéticas mediante el aprovechamiento máximo de fuentes de energía renovables integradas como sistemas de generación en los puntos de consumo.

Avanzar hacia una economía descarbonizada y desmaterializada exige que el aprovechamiento de las fuentes de energía renovables se realice desde un consumo eficiente y responsable, eliminando consumos innecesarios e ineficientes, reduciendo las pérdidas en el transporte y distribución de energía, así como las emisiones de Gases de Efecto Invernadero asociadas a los suministros energéticos. Todo ello se traduce en beneficios medioambientales y económicos para el propio Ayuntamiento y el conjunto de la ciudadanía.

La gestión activa de la demanda, englobada en políticas energéticas más amplias, se está posicionando en primera línea de cualquier estrategia de sostenibilidad energética. La mejora de la eficiencia y la consecuente reducción de los consumos energéticos, solo son posibles mediante el profundo conocimiento y monitorización de cuáles son, dónde, cuándo y cómo se comportan y se cubren las necesidades energéticas de los edificios e instalaciones municipales.

No ha sido el objeto de este proyecto la realización de una auditoria energética completa a todo el parque inmobiliario municipal, labor que los servicios técnicos del Ayuntamiento están realizando de forma progresiva, pero si ha sido necesario realizar un acercamiento, con el tiempo y la información disponibles, a la caracterización de los consumos energéticos actuales del parque inmobiliario municipal en su conjunto, para realizar una proyección futura de los mismos.

La caracterización de los consumos energéticos es un paso previo y fundamental para dimensionar e implementar de forma óptima los sistemas de autoconsumo a partir de energías renovables y, especialmente, los sistemas de aprovechamiento de energía solar que, por su madurez comercial y tecnológica y por su versatilidad para la integración en edificios e instalaciones, se posicionan en cabeza de los sistemas de autoconsumo energético dentro de los entornos urbanos. El grado de acoplamiento demanda/oferta es un elemento fundamental no solo para realizar un diseño racional de las instalaciones, sino porque es una variable fundamental para optimizar los recursos económicos disponibles.

Madrid, de entre todas las capitales europeas, se encuentra en una posición privilegiada en cuanto a niveles de irradiación solar y el Ayuntamiento de Madrid no puede dejar de aprovechar la oportunidad que esto representa para alcanzar un sistema 100% autosuficiente.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

La estrategia de mejora de la eficiencia y de reducción de los consumos energéticos implica la necesidad de apostar por la electrificación de la demanda. La utilización de la electricidad como vector energético supone, no solo, introducir criterios de eficiencia, pues todos los procesos que utilizan electricidad son más eficientes que los que utilizan combustibles fósiles, sino que, además, su consumo supone emisiones cero locales, lo que exige, para ser solidarios y responsables, que también lo sea en origen, generando la electricidad a partir de fuentes de energía renovables, razón por la que este proyecto se ha focalizado en el análisis y evaluación del enorme potencial fotovoltaico existente en edificios e instalaciones municipales.

Aunque las instalaciones fotovoltaicas son sistemas sencillos, en comparación con otros sistemas de generación, su dependencia de un recurso solar variable hace que sea necesario evaluar adecuadamente su planificación y diseño para optimizar su desempeño en función de las necesidades de los edificios, o de aquellas que se planteen al diseñar la gestión de la producción en el futuro al incorporar conceptos como redes inteligentes de distribución de electricidad, sistemas de almacenamiento, intercambio de energía entre consumidores, etc.

No se ha considerado cuantitativamente lo que supondría la introducción de marcos de actuación por parte del Ayuntamiento diferentes a los actuales en cuanto a su conversión en un agente activo en el sector energético. La energía es un bien de primera necesidad y el compromiso de los ayuntamientos debe conllevar un análisis sobre si su función debe ser el de mero consumidor eficiente y responsable o debe adoptar un papel activo frente a la energía, en este caso electricidad, considerándolo como un nuevo servicio público en el futuro.

El presente documento y sus anexos pretenden dar una imagen de la situación energética actual de los edificios e instalaciones municipales, proponer las actuaciones necesarias para lograr un Escenario de Eficiencia en 2030 y la planificación necesaria para aumentar los niveles de autoconsumo dentro de los edificios municipales y de autosuficiencia del propio Ayuntamiento de Madrid, logrando alcanzar el 100% de autosuficiencia deseado.

El documento está compuesto por:

- Un Resumen Ejecutivo en el que se recogen los resultados y propuestas.
- Un *Documento* principal configurado como Hoja de Ruta Madrid 2030, en el que se desarrollan con profundidad los resultados obtenidos y las propuestas a llevar a cabo.
- Una serie de Anexos en los que se incluyen los documentos básicos temáticos desarrollados.

El desarrollo del trabajo se ha llevado a cabo a lo largo de los últimos 8 meses, diciembre 2016 – julio 2017.

En estos meses el Ayuntamiento ha dado pasos importantes en su compromiso con la transición energética y la autosuficiencia que refuerzan las propuestas de esta Hoja de Ruta. Por un lado, el Plan A: Plan de Calidad del Aire y Cambio Climático que se presentó en marzo de 2017 y fue aprobado definitivamente el 21 de septiembre de 2017 para la implementación de medidas estructurales y tecnológicas concretas que resulten en una significativa reducción de emisiones exigida por la normativa de calidad del aire en 2020; y un horizonte a más largo plazo, 2030, para la regeneración urbana, transición energética, renovación del parque de vehículos y consolidación de un modelo de ciudad de bajas emisiones. Este plan en sus



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

medidas 26, 27 y 28 presenta actuaciones que tienen que ver con la implementación de esta Hoja de Ruta.

Por otro lado, mediante el proceso participativo Decide Madrid, se ha aprobado por la ciudadanía la propuesta Madrid 100% sostenible, que el Ayuntamiento deberá implementar y cuyas medidas 1, 2, 4, 5, 6 y 8 también se refieren a las actuaciones del Ayuntamiento de Madrid para avanzar hacia la autosuficiencia de sus edificios municipales.

El trabajo se ha realizado de forma coordinada con las personas responsables de las diferentes áreas del Ayuntamiento de Madrid como son: la Subdirección de Energía y Cambio Climático del Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad, el Servicio de Contratación de la energía y eficiencia energética, , el Departamento de Asuntos Urbanísticos, la Subdirección General de Coordinación Técnica de los Distritos de la Dirección General de Relaciones con los Distritos y Asociaciones, la Subdirección General de Arquitectura y Conservación de Edificios del Patrimonio y la Subdirección General de Ordenación y Patrimonio Protegido, que han facilitado la documentación sobre los edificios adscritos por propiedad o por uso de las distintas actividades que desempeña el Ayuntamiento de Madrid.



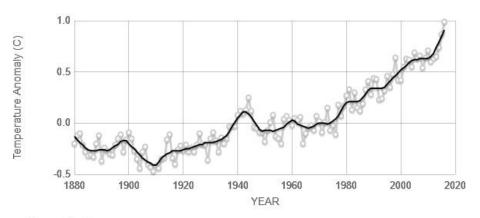
18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

2. Antecedentes

El cambio climático es una realidad y uno de los retos más importante a los que ha de enfrentarse la humanidad. Con la Revolución Industrial, la actividad de los seres humanos comienza a causar un impacto directo en el clima debido a la emisión de grandes cantidades de Gases de Efecto Invernadero, procedentes del uso los combustibles fósiles.

Dos siglos de industrialización después, el drástico aumento de la población mundial y las necesidades energéticas, junto con la deforestación, dan como resultado un fuerte incremento de los estos gases presentes en la atmósfera, acelerando el aumento de la temperatura global del planeta¹.



Source: climate.nasa.gov

Ilustración 2-1. Evolución de la temperatura global del planeta. (Fuente: NASA).

Este aumento de temperatura conlleva serias consecuencias ya visibles, como la desertificación que tiene lugar en la Península Ibérica. Su intensificación en años venideros, suponen una amenaza en aspectos tan importantes de nuestra sociedad como son la alimentación, la salud, la seguridad, la economía y, por supuesto, el medio ambiente.

Con el fin de evitar los peores impactos y asegurar la estabilidad climática, el Acuerdo de París ha establecido la necesidad de limitar el aumento de la temperatura global muy por debajo de los 2º C respecto a los niveles preindustriales y, si es posible, no superar los 1,5º C. Actualmente nos encontramos con un aumento de la temperatura media global de 0,99 ºC², mientras que el aumento en España ha sido de 1,6 °C³.

A nivel regional, la Unión Europea decidió desarrollar su propia *Hoja de Ruta hacia una Economía baja en carbono competitiva a 2050*, que incluye *tres horizontes de evaluación intermedios (2020, 2030 y 2040)*, dónde establece unos objetivos muy claros.

Reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

¹ El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) afirma, con una seguridad de más del 95% (extremadamente probable), que la mayor parte del calentamiento global es causado por las crecientes concentraciones de Gases de Efecto Invernadero procedente de actividades antropogénicas.

² Incremento comprendido entre 1880-2016, datos procedentes de la NASA.

³ Incremento comprendido entre 1965-2016, datos procedentes de la Agencia Estatal de Meteorología.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

- Aumento de la energía producida por tecnologías renovables.
- Reducción del consumo mediante el aumento de la eficiencia energética.

La finalidad de la Unión es, por tanto, <u>la descarbonización de su economía y el aumento de su autosuficiencia</u>, desligando así progreso y contaminación.

2.1. El marco europeo

La voluntad política en la Unión Europea hacia la transición energética parece clara, como se pone de manifiesto en las directivas que instan a los países miembros a avanzar mediante actuaciones en todos los sectores implicados. (ver *Anexo I: Resumen del marco regulatorio*).

El modelo energético necesario en el que se basa la consecución de un objetivo de Emisiones Cero se fundamenta en la racionalización del consumo (ahorro y eficiencia energética), en la electrificación creciente y eficiente de la demanda y en la generación distribuida y centralizada con fuentes de energía renovables, conformando un sistema energético sostenible. Este modelo trae además consigo progreso económico y social. La Unión Europea prevé la creación de más de 400.000 nuevos empleos en eficiencia energética a partir de 2016, consolidándose el auge de este sector. En cuanto a las energías renovables, hoy, dan trabajo a casi 10 millones de personas en todo el mundo y se espera que este número se eleve hasta los 24 millones en 2030, lo que convierte al sector en un importante motor económico en todo el mundo.

Nuestro país debe avanzar en la dirección marcada por la política europea en materia energética, desarrollando un marco claro a nivel nacional, mediante el *Plan Estratégico de Transición Energética*, que garantice y facilite a los diferentes actores implicados (sociedad, municipios, comunidades, etc.) participar en el progreso sostenible del país.

2.2. El entorno urbano: ciudades con futuro

En la actualidad, más de la mitad de la población mundial vive en ciudades; y en España ese porcentaje se eleva hasta el 80%. Las ciudades, y en especial las grandes urbes como Madrid, consumen ingentes cantidades de energía de forma diaria, convirtiéndose en un foco de emisiones y en el sumidero energético más importante.

Desarrollar una Política Energética Sostenible pasa obligatoriamente por considerar a las ciudades como el principal escenario de actuación. El desarrollo del entorno urbano requiere de un firme compromiso en materia energética, capaz de asimilar las necesidades presentes y futuras bajo criterios de sostenibilidad energética, ambiental y social, así como de equidad y solidaridad con el medio no urbano. Hoy en día, las emisiones evitadas por consumir electricidad en Madrid se producen en los emplazamientos donde están ubicadas las centrales de generación. Esto se traduce en que las ciudades tienen que dirigir su futuro hacia su autosuficiencia energética y las emisiones cero locales, como medidas de responsabilidad y progreso. El Ayuntamiento de Madrid mediante esta Hoja de Ruta puede avanzar decididamente en este sentido.

En el ámbito urbano las actuaciones en eficiencia energética para limitar la demanda y reducir los consumos energéticos, la generación en los puntos de consumo y redes inteligentes y la



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

transformación de las políticas de movilidad hacia las emisiones cero se sitúan en cabeza de las estrategias para avanzar hacia la sostenibilidad energética.

Ciudades como Copenhague, Múnich, Malmö, Fráncfort, San Diego, San Francisco y otras muchas, ya han establecido estrategias para alcanzar la plena descarbonización para 2025. Cada una de las cuales adaptando sus actuaciones a sus propias características. Madrid, con un recurso solar óptimo, no puede distanciarse de ejemplos como estos y ha de establecer compromisos exigentes, al menos, en su ámbito competencial.

La estrategia energética que desarrolle el Ayuntamiento, tanto en el ámbito municipal como en el conjunto de la ciudad, ha de evaluarse no solo en los retornos económicos y ambientales asociados a la sostenibilidad energética, si no como una oportunidad de generar y atraer nueva industria y servicios locales.

Esta Hoja de Ruta se centra en una de las áreas en las que el Ayuntamiento puede avanzar de manera más decidida; con la actuación sobre sus propios edificios municipales, para que alcancen cuanto antes una completa descarbonización y contribuyan también a importantes ahorros mediante una producción autosuficiente.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

3. Análisis de los consumos y suministros energéticos

El Ayuntamiento gestiona el consumo de más de 1.100 edificaciones e instalaciones municipales que, a su vez, se corresponden con más de 3 millones de metros cuadrados construidos (se estima en unos 3,3 millones de m²). Se han dejado fuera del análisis edificios e instalaciones municipales o asociadas a servicios municipales que son o bien gestionados por organismos autónomos, empresas municipales, subcontratas; o que la gestión energética se realiza mediante contratos específicos.

En la **Ilustración 3-1**se muestra el peso por superficie construida en función de las tipologías de edificios analizadas. Como se explica en el Anexo II: Parque Inmobiliario municipal, se han partido de la clasificación utilizada en la documentación municipal analizada, simplificando mediante la unificación dentro de la tipología de *Otros*, de otras tipologías como *Medio Ambiente, Mixto* y *Sanitario*.

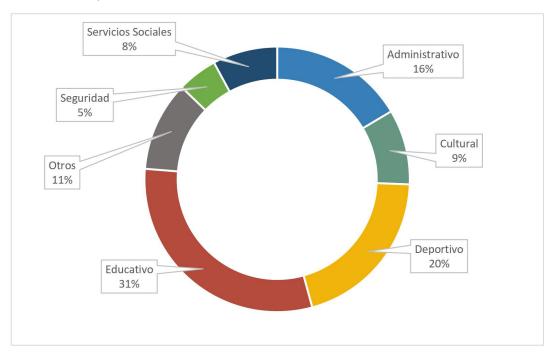


Ilustración 3-1. Distribución de superficie por categorías.

La elaboración de este estudio ha considerado este inventario como foto fija, sin tener en cuenta las constantes variaciones, bien por el cambio de edificios alquilados o cedidos, por edificios de nueva construcción, etc.; que pudieran acontecer a largo de la vigencia de esta Hoja de Ruta.

En la **Tabla 3-1**se muestran los consumos energéticos totales por suministros contabilizados por el Ayuntamiento de Madrid, correspondiente a edificios, instalaciones y casetas; que en 2016 alcanzó más de 340 GWh de energía final (589 GWh de energía primaria), repartidos entre el suministro de gasóleo C, gas natural y electricidad.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Tabla 3-1. Energía final y energía primaria total y por suministros. 2014-2016.

	Energía final (kWh)			a final (kWh) Energía primaria (kWh)				
	2014	2015	2015 2016		2015	2016		
Consumo total	399.920.549	343.824.314	346.324.970	666.307.084	592.669.280	588.667.956		
Electricidad	161.462.259	155.668.961	149.697.194	382.342.629	368.624.100	354.482.955		
Gas natural	210.675.591	164.555.353	177.096.899	251.125.304	196.149.981	211.099.504		
Gasóleo C	27.782.699	23.600.000 ⁴	19.530.877	32.839.150	27.895.200	23.085.497		

A partir de los factores de conversión (E. primaria/E. final), emisiones de los diferentes suministros (ver **Tabla 3-2**) y su contribución al consumo total, se han determinado unos factores de conversión y emisiones de consumo energético municipal.

Estos consumos suponen la emisión de en torno a 100.000 tCO₂/año solo asociada a los edificios del Ayuntamiento de Madrid.

Tabla 3-2. Factores de conversión del mix energético municipal analizado. 2014-2016.

	2014	2015	2016
Factores de conversión E. final y E. primaria del mix municipal	1,666	1,724	1,700
Factores de emisiones de CO ₂ del mix municipal (kg CO ₂ /kWh E. final)	0,288	0,292	0,289

Del cruce de los datos de edificios y los CUPS (código universal del punto de suministro) a los que se ha tenido acceso, se ha focalizado el trabajo sobre los 900 edificios con el consumo más significativo que suponen un 95% del consumo total contabilizado. (Ver **Tabla 3-3**).

Tabla 3-3. Consumos energéticos totales analizados de 900 edificios. (Energía final, kWh, por año, 2016).

	Electricidad	Gas natural	Gasóleo C	Total 2016
	kWh	kWh	kWh	kWh
Consumo contabilizado Ayuntamiento	149.697.194	177.096.899	19.530.877	346.324.970
Consumo en edificios identificados	140.710.279	170.431.547	19.530.877	330.672.702
Consumos selección 900 edificios	140.506.825	170.431.150	19 530 877	330.468.852
Contabilizado/selección	94%	96%	100%	95%

La caracterización energética de un edificio comienza por el estudio de la demanda energética para lo que es necesario analizar en detalle las condiciones constructivas del edificio, la climatología del lugar, el uso y la ocupación del mismo. Se entiende como demanda energética la energía útil requerida para mantener unas condiciones de confort y ergonómicas óptimas en función de unos usos y de unas necesidades razonables.

⁴ Al no tener acceso a este dato se ha estimado un valor en función del consumo de los años 2014 y 2016.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

El enfoque del trabajo realizado se ha adaptado a la información disponible, por lo que se ha realizado el análisis a partir de los consumos de energía final accesibles y de la información de auditorías energéticas a las que se ha tenido acceso. Las conclusiones posteriores deberán definir los rendimientos necesarios para poder evaluar la limitación de la demanda de energía útil en algunos casos y, en otros, las actuaciones necesarias que permitan satisfacer la demanda con el menor consumo energético posible (energía final y primaria), mediante la mejora de los rendimientos de los equipos y sistemas y la transición hacia suministros más sostenibles (gestión activa de la demanda, electrificación de la demanda e integración de energías renovables en el punto de consumo).

3.1. Categorías de suministros energéticos

Existen, principalmente, tres fuentes energéticas en los edificios municipales: la energía eléctrica, presente en el 100% de los edificios; el gas natural, presente en una parte importante, y el gasóleo C, sobre el que el Ayuntamiento está llevando un plan de sustitución fundamentalmente por gas natural.

La energía eléctrica abastece, o puede abastecer, todos los tipos de cargas instaladas en los edificios: iluminación, climatización, agua caliente sanitaria y equipos. En cambio, el gas natural es usado, en aproximadamente el 95% de los casos, para climatización, principalmente calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), dejando un pequeño porcentaje para cocinas. El uso de gasóleo C está íntegramente ligado a calefacción.

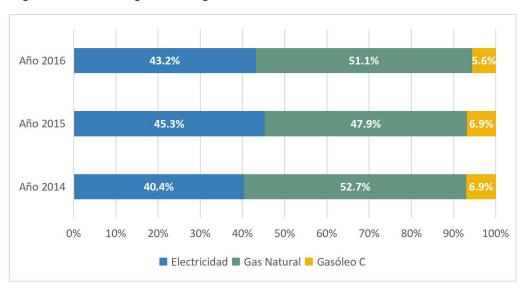


Ilustración 3- 2. Contribución de los diferentes suministros energéticos al consumo total entre 2014-2016.⁵

En la **Ilustración 3-2** se observa la alta dependencia con respecto al gas natural por la concentración de consumos en la cobertura de las necesidades de calefacción. La sustitución de calderas de gas y, por supuesto, de gasóleo por bombas de calor debe ser condición necesaria para llevar a cabo un compromiso energético sostenible por parte del Ayuntamiento. La cobertura de las necesidades energéticas con electricidad se sitúa en el 43% en 2016, un

⁵ El dato de consumo de gasóleo C de 2015 es un dato estimado.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

porcentaje muy reducido si analizamos la tipología de usos de los edificios. La electrificación lleva implícitamente un compromiso por la sostenibilidad, por estar ligada a una mejora de la eficiencia y a una reducción drástica de las emisiones de GEI.

El consumo se encuentra muy concentrado en una parte de los edificios e instalaciones, alcanzando más del 80% con solo 400 edificaciones y prácticamente el 98% con 900, existiendo, por tanto, un amplio número de pequeñas instalaciones sin apenas un consumo significativo (casetas, vestuarios, evacuatorios, etc.).

Por esta razón, la mayor parte de los análisis se han realizado sobre los 900 edificios seleccionados, sobre los que se deben concentrar las actuaciones por parte del Ayuntamiento tanto en eficiencia como en generación.

Si se analiza la contribución de cada tipo de suministro por tipologías, **Tabla 3-4**, la contribución de los combustibles fósiles es muy relevante en las dos más numerosas, *Educativo* y *Deportivo*, ya que la suma de la contribución del gas natural y el gasóleo C supera el 65% en ambos casos. Cabe resaltar, además, que estas dos tipologías representan más del 50% del consumo energético total. (Ver **Ilustración 3-3**).

Tabla 3-4. Distribución de los consumos por fuentes energéticas para cada tipología y su contribución al consumo total. Datos de 2016.

	Consumo de gasóleo C (%)	Consumo de gas natural (%)	Consumo de electricidad (%)	Contribución al consumo total (%)
Administrativo	0,0%	28,2%	71,8%	15%
Cultural	0,1%	39,1%	60,7%	11%
Deportivo	20,9%	49,9%	29,2%	25%
Educativo	1,5%	76,6%	21,9%	26%
Otros	0,2%	51,5%	48,2%	6%
Seguridad	1,2%	36,2%	62,6%	5%
Servicios Sociales	1,2%	48,7%	50,1%	11%

Se ha encontrado, en algunos casos, el uso de suministros de propano, además de consumos de gasolina y gasóleo para vehículos municipales, que quedan fuera de este estudio ya que no forman parte del comportamiento energético de los edificios.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

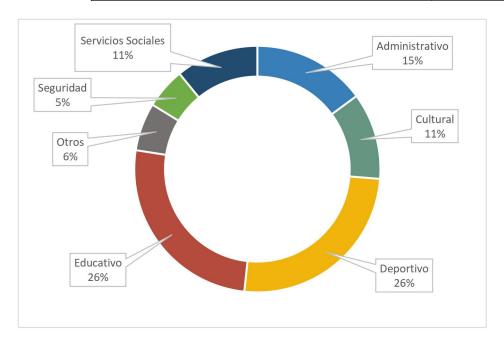


Ilustración 3-3. Distribución del consumo de energía útil total por tipologías. Año 2016.

3.2. Gasóleo C

El gasóleo C es una fuente energética de origen fósil y, por tanto, contaminante y emisora de Gases de Efecto Invernadero (0,311 kgCO₂/kWh⁶). A esto hay que añadir la poca eficiencia que tienen las calderas de gasóleo por la quema del combustible para producir calor, con rendimientos nominales entre el 80% - 90%, aunque, por antigüedad de los equipos y funcionamiento a cargas parciales, los rendimientos estacionales pueden ser menores, no pudiendo bajar, según reglamento, del 60%.

En el momento de redactar el presente informe, existían un total de 31 edificios con suministro de gasóleo C en 2016, destinado a calefacción. El peor rendimiento de las calderas de gasóleo (< 90%), que, además, forman parte de sistemas anticuados e ineficientes, da una mayor preponderancia a la participación en los consumos energéticos globales (7%), que la que puedan representar las necesidades o demandas energéticas útiles reales. Una estimación conservadora de la demanda térmica útil total cubierta con gasóleo C, estaría en torno a los 17.000 MWh térmicos. En sentido contrario, la energía primaria equivalente al consumo de gasóleo C evaluado se situaría por encima de los 23.000 MWh, lo que resalta la ineficiencia de los sistemas cubiertos con este tipo de combustible, a lo que hay que sumar las emisiones asociadas que superarían las 6.000 tCO₂.

En la **Tabla 3-5**se muestra el listado detallado de los edificios dónde aún existe suministro de gasóleo C y los cambios previstos o ya realizados.

_

⁶ FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ y COEFICIENTES DE PASO A ENERGÍA PRIMARIA DE DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA FINAL CONSUMIDAS EN EL SECTOR DE EDIFICIOS EN ESPAÑA. (Resolución conjunta de los Ministerios de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento). 14 de enero de 2016.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Tabla 3-5. Edificios con suministro de gasóleo C. Año 2016.

Descripción	Tipo	Gasóleo C (kWh)	Fecha Cambio	Nuevo Suministro
C.D.M. Cerro Almodóvar	Deportivo	2.073.660	Pendiente	
C.D.M. San Blas	Deportivo	1.956.756	2017/2018	
C.D.M. José María Cagigal	Deportivo	1.778.951	2017	Electricidad
C.D.M. Vicente del Bosque	Deportivo	1.717.838	2018	Gas natural
C.D.M. Puente de Vallecas	Deportivo	1.610.881	2017	
C.D.M. Casa de Campo (TENIS+PISCINA)	Deportivo	1.565.616		Gas natural (parcial)
I.D.M. Palomeras	Deportivo	1.403.224	2017	Gas natural
C.D.M. Concepción	Deportivo	1.349.056		
CDM. Entrevías	Deportivo	1.111.303	2017/2018	Gas Natural
C.D.M. Fernando Martin	Deportivo	1.051.092		
C.D.M. Elipa	Deportivo	529.105		Gas Natural (Parcial)
C.P. El Sol	Educativo	371.864		
C.D.M. Vicálvaro	Deportivo	324.602		
C.D.M. Moratalaz	Deportivo	290.775	2.017	Gas Natural / Electricidad (Parcial)
Centro de Vacaciones Residencia Nuestra Señora de la Paloma	Educativo	263.660		
C.E.E. Vallecas	Educativo	248.450		
P.M. Unidad de Escuadrón de Caballería y Banda	Seguridad	219.876		
C.M.M./ Centro de Día/C.S.S. Guindalera	Servicios Sociales	206.653		
C.D.M. Arganzuela	Deportivo	202.942		
C.D.M. Ciudad de los Poetas	Deportivo	182.520	2017	
C.D.M. Chopera	Deportivo	178.393	2017	Electricidad
C.E.E. La Quinta	Educativo	172.400		
C.C C.M.M. María Zambrano	Servicios Sociales	169.490		
Escuela Madrileña de Cerámica Moncloa	Educativo	128.403	2017	Gas Natural
C.D.M. La Bombilla	Deportivo	101.400		
C.D.M. Orcasitas	Deportivo	101.380		
Aula de la Naturaleza. Casa de Campo	Otros	60.850		
Banda Sinfónica Municipal. (Casa Campo)	Cultural	53.215		
Viveros Casa de Campo	Medio ambiente	50.700		
Centro de Dia Mayores Fray Luis de León	Servicios Sociales	40.611		
Centro de vacaciones escolares Palacio Valdés	Educativo	15.210		
TOTAL		19.530.877		



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Es un tipo de suministro a extinguir y sobre el que el Ayuntamiento de Madrid ha centrado sus actuaciones, procediendo, en la actualidad a la sustitución de las calderas de gasóleo C por calderas de gas natural, poco más eficientes, pues solo suponen menos de un 10% de ahorro en energía primaria⁷ y cuyo periodo de amortización hipoteca las futuras políticas de objetivos de reducción de consumos y emisiones de GEI que deberían fijarse en un horizonte 2030.

El Ayuntamiento de Madrid debería reconsiderar la sustitución de calderas de gasóleo por calderas de gas tanto por eficiencia y reducción de emisiones como por la posibilidad de cubrir estas demandas de energía con las iniciativas de generación de energía eléctrica de cada edificio que se vayan a llevar a cabo. En la Tabla 3-6. Evaluación de las vías de transición energética desde el gasóleo C hacia suministros energéticos más sostenibles. En la **Tabla 3-6** se muestra una comparativa de las opciones existentes para la transición energética desde el gasóleo C hacia suministros energéticos más sostenibles.

En esta comparativa se observa que, incluso tomando valores muy conservadores en favor de los combustibles fósiles, la electrificación de la demanda de calefacción tiene amplias mejoras energéticas y medioambientales.

⁷ Suponiendo un cambio de una caldera con un 0.9 de rendimiento por una de un rendimiento unidad.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Tabla 3-6. Evaluación de las vías de transición energética desde el gasóleo C hacia suministros energéticos más sostenibles.8

	Energía final (MWh)	Reducción de energía final (%)	Rendimiento por tipo de equipos (%)	Demanda de energía térmica útil (MWh)	Energía primaria (MWh)	Reducción de energía Primaria (%)	Emisiones equivalentes (tn CO ₂)	Reducción de emisiones equivalentes (%)
Gasóleo C	19.531		<90% ⁹	17.578	23.085		6.074	
Gas natural	17.578	-10%	<100% ¹⁰	17.578	20.953	-9%	4.430	-27%
Electrificada	5.859	-70%	>300%¹¹	17.578	13.874	-40%	1.939	-68%

⁸ FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ y COEFICIENTES DE PASO A ENERGÍA PRIMARIA DE DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA FINAL CONSUMIDAS EN EL SECTOR DE EDIFICIOS EN ESPAÑA. (Resolución conjunta de los Ministerios de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento). 14 de enero de 2016.

⁹ El CTE toma valores del 88% para las calderas de gasóleo C. En esta ocasión se ha elevado este rendimiento para incluir, si fuera el caso, calderas de baja temperatura más eficientes.

¹⁰ En el caso del gas natural el rendimiento tipo definido en el CTE es del 92%. De nuevo se toma un valor superior, para incluir las calderas de condensación.

¹¹ El valor mostrado es el de una bomba de calor tipo, por encima del valor más conservador del CTE que la sitúa en 200%. Aunque por los avances tecnológicos en bombas de calor ya existen en el mercado equipos con rendimientos muy por encima.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

3.3. Gas natural

El gas natural es una fuente energética de origen fósil y, al igual que el gasóleo C, fuente contaminante y emisora de Gases de Efecto Invernadero (0,252 kg CO₂/kWh¹²), principales responsables del calentamiento global.

El suministro de gas natural municipal va dirigido, en más de un 95%, a cubrir la demanda energética de climatización, calefacción y ACS, dedicándose una mínima parte a cocinas. De los datos analizados se observa que la mayor parte del consumo se produce en calderas de gas natural (calefacción, ACS o mixtas) con valores de rendimientos nominales comprendidos entre el 90% y el 98%.

En el análisis de los datos recibidos, se han encontrado sistemas de bombas de calor alimentadas con gas natural, con valores por debajo de 200% de rendimiento¹³, aunque no aparecen en la información recopilada porque en la actualidad se está procediendo al cambio de calderas de gasóleo C por calderas de gas natural con rendimientos habitualmente entre 90-95%.

Los datos de facturación vienen identificados por los CUPS (Código Universal de Punto de Suministro), por lo que se han tenido que cruzar los datos de facturación con los de CUPS (MAESTRO PUNTOS GAS, en el caso del gas natural).

En la **Tabla 3-7**, se puede observar la complejidad en la identificación de los datos, máxime cuando en algunos de los casos un mismo edificio tiene dos, tres o hasta 5 puntos de suministro.

Tabla 3-7. Datos de CUPS de gas natural extraídos de los documentos facilitados.

CUPS totales	895
CUPS con códigos de edificios totales	836
Edificios con CUPS	552

Para el año 2016 en concreto, se han encontrado los consumos de gas natural de un total de 526 edificios, los cuales suman un total de 795 CUPS.

Estudio de tarifas

Según el documento *MAESTRO PUNTOS GAS*, las tarifas contratadas van desde la 3.1 a la 3.4, (P≤ 4 bar). Las tarifas de gas se dividen según el consumo total anual. (Ver Ilustración 3-4):

- Tarifa 3.1: destinada a consumos anules inferiores a 5.000 kWh.
- Tarifa 3.2: consumos anuales mayores de 5.000 kWh, pero menores de 50.000 kWh.
- Tarifa 3.3: consumos anuales mayores de 50.000 kWh y menores de 100.000 kWh.

 $^{^{12}}$ FACTORES DE EMISIÓN DE ${\rm CO}_2$ y COEFICIENTES DE PASO A ENERGÍA PRIMARIA DE DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA FINAL CONSUMIDAS EN EL SECTOR DE EDIFICIOS EN ESPAÑA. (Resolución conjunta de los Ministerios de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento). 14 de enero de 2016.

¹³ En algunos casos no queda claro a qué tipo de rendimiento se hace referencia, si a COP, EER o valores estacionales, por lo que se ha tomado un valor medio que se ha considerado razonable.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Tarifa 3.4: se aplica a consumos anuales de más de 100.000 kWh.

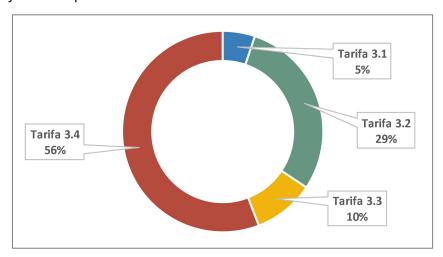


Ilustración 3-4. Distribución de las tarifas de gas natural existentes.

Como se pone de manifiesto la tarifa 3.4 es la que tiene mayor peso en cuanto a número de suministros, que se hace más evidente cuando se analiza el consumo por tarifas, alcanzando el 95% del consumo total.

Análisis de consumos

Del análisis de los consumos de gas natural por tipologías, se puede observar (ver Ilustración 3-5), como en los edificios de la categoría *Educativo*, es en los que la contribución de gas natural adquiere una preponderancia máxima, alcanzando más del 70% del consumo total anual. En segundo lugar, se encuentran las categorías de *Otros que* incluye edificios de diferentes usos y son de análisis más complicado, seguidos por *Deportivos* y *Servicios Sociales*.

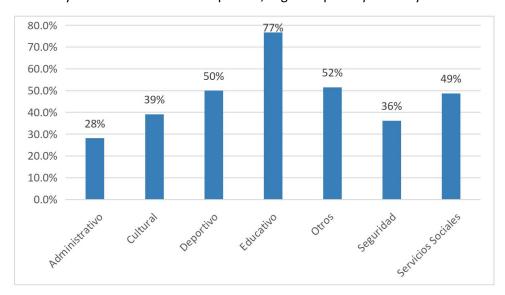


Ilustración 3-5. Contribución del gas natural al consumo energético total de cada tipología. Año 2016.

En las categorías de *Cultural, Seguridad* y, en especial *Administrativo*, se produce una disminución de la participación del gas natural al mix energético particular de cada una de estas categorías.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

El suministro de gas natural se puede identificar con la demanda de climatización, en especial calefacción y ACS de los edificios y, en el caso de los *Deportivos*, además, con la climatización de las piscinas. La diferencia de las participaciones del gas natural puede deberse a que la electrificación de la demanda de climatización es inferior en las categorías *Educativo*, *Otros*, *Servicios Sociales* o *Deportivo*, o a que, por sus características constructivas y usos, la demanda de calefacción es mayor. Estas causas se evaluarán más adelante.

Un análisis de la contribución (ver Ilustración 3-6) de cada tipología al consumo total de gas natural, muestra, en consonancia con todo lo anterior, como la tipología *Educativo* es la que demanda la mayor parte del total del consumo de gas natural, seguido de *Deportivo*, sumando entre ambas más del 60% del total de gas natural consumido y prácticamente la totalidad del consumo de gasóleo C.

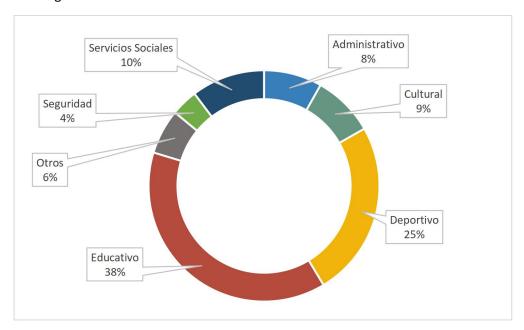


Ilustración 3-6 Contribución de cada tipología al consumo total de gas natural. Año 2016

Las siguientes tipologías en importancia en cuanto a consumo de gas natural son *Servicios Sociales, Cultural y Administrativo*. En estos últimos dos casos, la existencia de algunos edificios con un alto consumo hace que suba el porcentaje de consumo.

Es interesante analizar cómo se distribuye el consumo total dentro de cada tipología de edificio, en función de los rangos de consumo (ver Ilustración **3-7**), en especial, en las dos tipologías mayores consumidoras de gas natural, *Educativo* y *Deportivo*.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

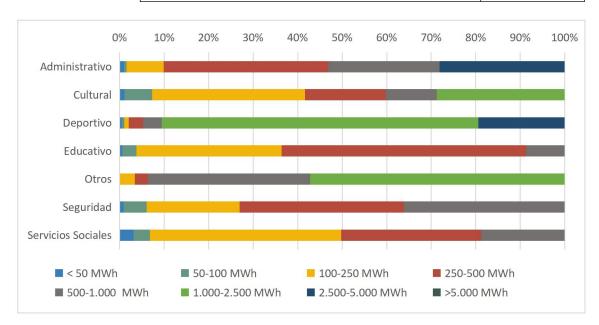


Ilustración 3-7. Distribución de rangos de consumo anual de gas natural por tipologías. Año 2016.

Mientras que, en el primer caso, más del 90% del consumo se produce en edificios con un rango de consumo por debajo de 500 MWh/año, en el segundo más del 90% se produce en instalaciones con consumos superiores a 1.000 MWh/año, hecho que está en consonancia con que los centros *Educativos* son muy numerosos y, por tanto, tienen un consumo distribuido entre un mayor número de edificios y que en la categoría de *Deportivo* existen CDM con una alta demanda energética.

3.4. Energía eléctrica

La producción de energía eléctrica puede ser *centralizada*, mediante grandes centrales de generación lejos de los puntos de consumo; *distribuida*, en pequeñas instalaciones de generación conectadas en distribución y por lo tanto cerca de los puntos de consumo o de *autoconsumo*, en el que la generación se produce dentro de la red interior del consumidor. A su vez, el origen de la energía eléctrica está determinado por la fuente de energía que se utilice para producirla. Así, la energía eléctrica puede ser de *origen renovable* (cuando se obtiene de centrales o instalaciones solares, eólicas, hidroeléctricas y de biomasa, principalmente) o de *origen fósil y nuclear* (cuando se obtiene en centrales de carbón, ciclos combinados y nucleares).

Actualmente, debido al mix energético existente en España, el factor de emisión de la energía eléctrica se sitúa en $0.331 \text{kgCO}_2/\text{kWh}^{14}$ y su factor de conversión alcanza los $2.368 \ \text{E}_P/\text{E}_{\text{F}}$, valor muy por encima de otros tipos de suministro energético, principalmente debido a la complejidad del mix energético y del sistema de transporte y distribución (pérdidas). (Ver **Tabla 3-8**). Por todo ello, los objetivos de sostenibilidad solo se pueden alcanzar con un cambio de la planificación energética nacional hacia un mix 100% renovable y trasladando la

Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento). 14 de enero de 2016.

Fundación Renovables

¹⁴ FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ y COEFICIENTES DE PASO A ENERGÍA PRIMARIA DE DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA FINAL CONSUMIDAS EN EL SECTOR DE EDIFICIOS EN ESPAÑA. (Resolución conjunta de los Ministerios de



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

generación de energía eléctrica lo más cerca del punto de consumo (generación distribuida y autoconsumo).

Tabla 3- 8. Coeficiente de pérdidas estimados según suministro o acceso. (En % de la energía consumida en cada periodo). Orden ITC/3801/2008 de 26 de diciembre.

Nivel de tensión	%
ВТ	13,81
MT (1< kV ≤ 36)	6,00
MT (36 < kV ≤ 72,5)	4,00
MT (72,5 < kV ≤ 145)	3,00
MAT (kV > 145)	1,62

Como se puede ver en la **Tabla 3-9**, en la mayoría de los edificios existe solamente un punto de suministro eléctrico, habiendo un pequeño número con dos y tres contadores y un edificio con hasta 8 puntos de suministro diferentes.

Tabla 3-9. Datos de CUPS de energía eléctrica extraídos de los documentos facilitados.

	Documento: MAESTRO_PTOS EE_2016
CUPS totales	1.668
CUPS con códigos de edificios totales	1.256
Edificios con CUPS	998

Tarifas y potencias contratadas

Las tarifas eléctricas contratadas difieren en cada edificio adaptándose a las necesidades del mismo. Se distinguen dos grupos en función del acceso en baja tensión o en alta tensión. A su vez, se pueden clasificar según los periodos tarifarios, de manera que encontramos sin discriminación horaria, es decir, con un único periodo, con discriminación horaria de dos periodos (punta y valle) y de tres periodos (punta, llano y valle). Las tarifas existentes en los edificios municipales de Madrid son:

- 2.0 A: un único periodo tarifario, potencia contratada máxima 10 kW, en baja tensión.
- 2.0 DHA: dos periodos tarifarios, potencia contratada máxima 10 kW, en baja tensión.
- 2.1 A: un único periodo tarifario, potencia contratada mínima 10 kW y máxima 15 kW, en baja tensión.
- 2.1 DHA: dos periodos tarifarios, potencia contratada mínima 10 kW y máxima 15 kW, en baja tensión.
- 3.0 A: tres periodos tarifarios, potencia contratada superior a 15 kW, en baja tensión.
- 3.1 A: tres periodos tarifarios, sin potencias máximas fijadas, en alta tensión.
- 6.1 A: seis periodos tarifarios, sin potencias máximas fijadas, en alta tensión.

18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

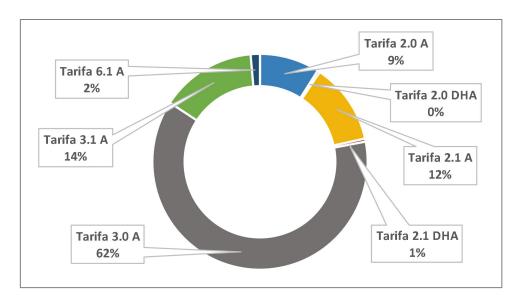


Ilustración 3-8. Distribución de las tarifas eléctricas existentes.

Como se puede observar en la Ilustración 3-8, la tarifa más representativa es la 3.0 A presente en el 62% de los edificios municipales, seguida de la 3.1 A con el 14%. Ambas con tres periodos tarifarios. Las siguientes son las tarifas 2.1 A y 2.0 A, ambas de un único periodo, con un 12% y un 9% respectivamente. Por último, se sitúan las tarifas 6.1 A, de seis periodos, que suman un 2% del total y las 2.1 DHA y 2.0 DHA que suponen el 1% restante, ambas con dos periodos.

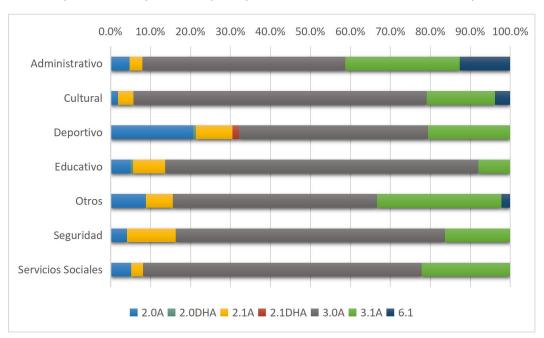


Ilustración 3-9. Tarifas eléctricas por tipologías de edificios.

En la **Ilustración 3-9** se puede ver cuál es la distribución de las tarifas anteriormente descritas en función de las tipologías de edificios existentes en el parque municipal. Se aprecia que:

- La tarifa 2.0 DHA la podemos encontrar solamente en Deportivos y Educativos.
- Los edificios *Deportivos* son los únicos con tarifa 2.1 DHA.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

- Las tarifas 3.0 A y 3.1 A están presentes en todas las tipologías de edificios.
- La tarifa 6.1 A se encuentra solamente en los edificios Otros, Culturales y Administrativos.

Por otro lado, la Ilustración 3-10 muestra las potencias máximas contratadas de todos los periodos tarifarios.

- La potencia máxima contratada se sitúa entre los 10 y los 50 kW en el 60% de los edificios municipales.
- En la franja 50-100 kW se sitúa el segundo mayor porcentaje de edificios con un 18% de los existentes.
- El rango de entre 100 y 250 kW está presente en el 11% de los edificios.
- Los inmuebles pequeños, con una potencia contratada menor de 10 kW, representan el 7%.
- En la cola se sitúan las potencias máximas contratadas más altas, 250-500 kW con un 3%.
- Las mayores de 500 kW son solamente el 1% de todos los edificios municipales.

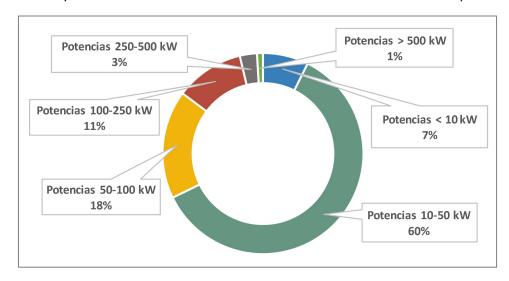


Ilustración 3-10. Distribución de potencias máximas contratadas.

Análisis de los consumos eléctricos

Una vez evaluadas las tarifas y potencias contratadas se han analizado los consumos por tipologías. Para ello, y con el fin de hacerlo de forma más visual, se han elaborado una serie de gráficas en las que se muestran las contribuciones y rangos de consumos eléctricos por tipologías. En la **Ilustración 3-11** se observa como ahora son las tipologías *Administrativo*, *Cultural* y *Seguridad*, en las que la cobertura de la demanda energética con electricidad es mayor. Especial mención merecen los edificios *Educativo* y *Deportivos* en los que el grado de electrificación es muy bajo por la utilización generalizada de combustibles fósiles y en los que se debe concentrar la actuación en términos de mejora de eficiencia y reducción de emisiones.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

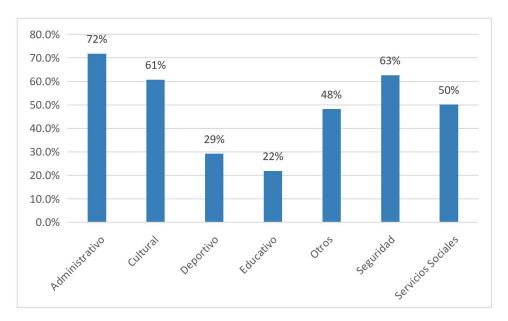


Ilustración 3- 11. Contribución de la electricidad al consumo energético total de cada tipología. Año 2016.

En el caso del consumo eléctrico (ver Ilustración 3-12), es la tipología *Administrativo* la que mayor contribuye al consumo eléctrico total, seguida del *Deportivo* y *Cultural*. En el primer y tercer caso, nos da una idea del grado de electrificación de la climatización; mientras que, en el *Deportivo*, nos vuelve a mostrar como una tipología gran consumidora de energía.

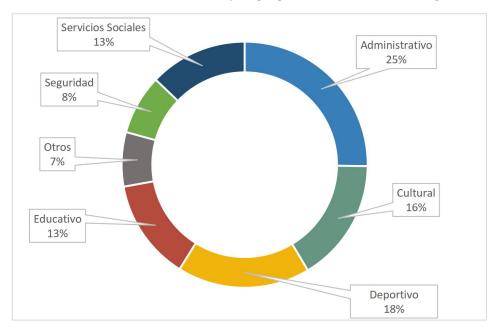


Ilustración 3-12. Contribución de cada tipología al consumo total de electricidad. Año 2016.

Cuando se analizan los rangos de consumo eléctrico por tipologías (ver Ilustración 3-13), observamos la importancia de edificios de gran consumo de electricidad por encima de los 1.000 MWh/año en *Administrativo y Cultural*, mientras que, en *Deportivo*, el 95% de las instalaciones tienen un consumo menor a 1.000 MWh/año.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Cabe señalar, además, como en *Educativo*, principal consumidor de gas natural, los rangos de consumo eléctrico están por debajo de 250 MWh/año en más del 9% de los edificios.

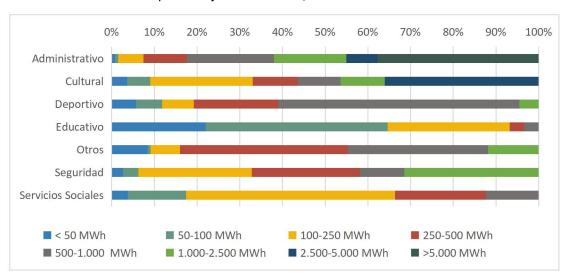


Ilustración 3-13. Distribución de rangos de consumo anual de electricidad por tipologías. Año 2016.

Curvas de carga de suministro eléctrico

El estudio de las curvas existentes (ver **Tabla 3-10**) y de estudios y documentos sobre análisis de curvas de demanda, agregadas o por tipologías similares a las de este informe, permite obtener varios puntos para tener en cuenta en futuros análisis de curvas de consumo de un edifico o instalación concreta.

	N.º Curvas de carga
Administrativo	10
Cultural	5
Otros	4
Seguridad	1
Total	20

Tabla 3- 10. Curvas de carga recibidas por cada tipología.

A modo de resumen, se describen algunas características para tener en cuenta cuando se analicen las curvas de carga de un edificio concreto, o si se obtuviesen un número suficiente de curvas, de una tipología que permitiese estudiar si existen comportamientos característicos en función de la tipología. Tomar valores de potencias medias de un periodo intra horario, integrados de consumos horarios o de un periodo menor, parece indiferente.

El correcto seguimiento para diseñar adecuadamente los planes de actuación sobre los edificios a estudiar debería incluir los datos para identificar:

- Estacionalidad mensual (climatología y horas de sol).
- Estacionalidad semanal (horarios y ocupación).



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

- Potencia base y potencia mínima (cargas y equipos existentes).
- Hora de arranque-rampa (horarios, usos, climatología y horas de sol).
- Puntas máximas (climatología, cargas y equipos existentes).
- Rampa de descenso (horarios, usos, climatología y horas de sol).
- Grado de electrificación.
- Consumo mensual/semanal/diario.

Algunos indicadores que podrían servir para categorizar el comportamiento de las curvas, a modo de ejemplo, podrían ser:

- Potencia máxima, media y base.
- % de potencia base sobre el máximo o potencia contratada.
- Potencia media estacional (por meses, invierno/verano).

En la **Ilustración 3-14**, **Ilustración 3-15** e **Ilustración 3-16** puede observarse como varían dentro de un mismo edificio, en este caso un gran edificio de *Administrativo*, algunos de los indicadores propuestos en función de la estacionalidad. Se identifica claramente el horario de uso de dicho edificio; sin actividad los fines de semana.

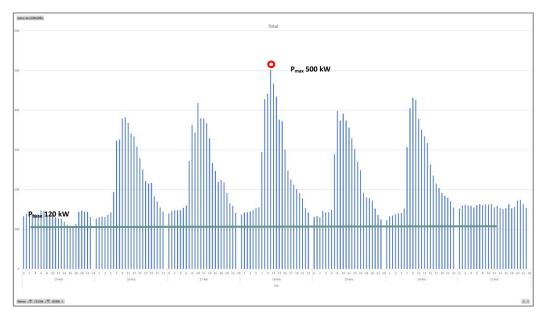


Ilustración 3- 14. Curvas de carga horaria de una semana (de domingo a sábado) del mes de febrero de un edificio Administrativo.

La característica principal, que se mantiene a lo largo de todo el año, es una fuerte rampa de arranque matutino, hasta un máximo que se va desplazando hacia el mediodía según se pasa del invierno al verano, en consonancia con el desplazamiento de la demanda de calefacción hacia las primeras horas del día, en invierno y de refrigeración hacia las horas de más calor en verano. La rampa vespertina es mucho menos pronunciada y se alarga hasta las 22:00h.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

La mayor potencia durante un mes de invierno está motivada por las necesidades de la calefacción y un mayor consumo en iluminación.

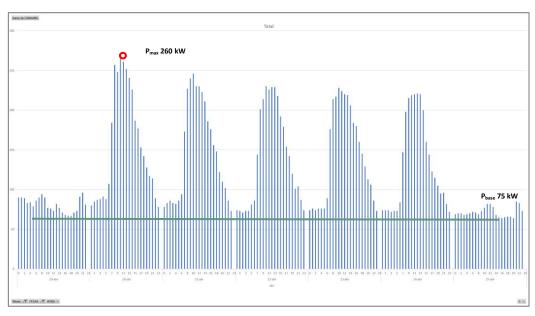


Ilustración 3- 15. Curvas de carga horaria de una semana (de domingo a sábado) del mes de abril de un edificio Administrativo.

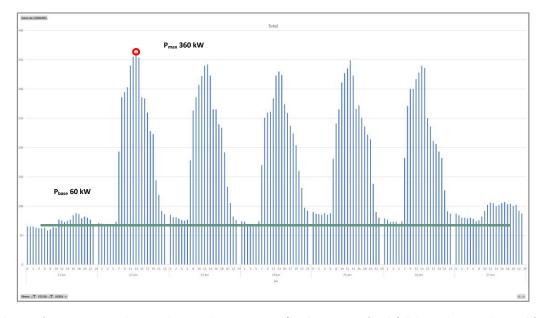


Ilustración 3- 16. Curvas de carga horaria de una semana (de domingo a sábado) del mes de junio de un edificio Administrativo.

Durante la primavera se hace un menor uso de climatización (ni calefacción, ni refrigeración) y las potencias y consumos disminuyen, mientras que en verano vuelve a subir la demanda en las horas centrales debido a la climatización.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

3.5. Consumos de energía final por tipologías de edificios y cargas energéticas

Para la caracterización final del comportamiento energético por tipologías, se ha analizado la distribución de los rangos de consumos dentro de cada tipología, tal como se muestra en la **Ilustración 3-17**. Cabe destacar como los cuatro edificios de mayor consumo (> 5.000 MWh) se encuentran en *Administrativo* y *Cultural*, representado más del 35% y más del 30% del consumo respectivamente. En *Deportivo* más del 90% del consumo se produce en edificios con consumo superior a los 1.000 MW, seguido de *Administrativo* con más del 60% y *Otros* con cerca del 50%.

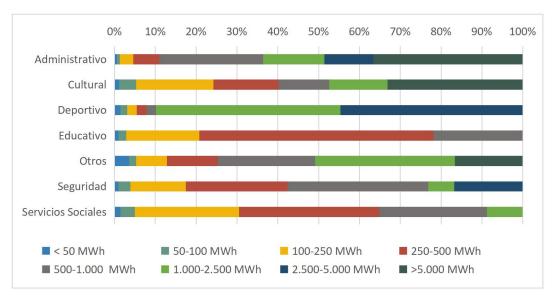


Ilustración 3-17. Rangos de consumo total anual de energía final por tipologías.

Además de la distribución de rangos de consumos, es necesario evaluar cómo se distribuyen las diferentes cargas y determinar indicadores de desempeño por tipologías.

De la información extraída de las auditorías y estudios energéticos de los edificios municipales recibidos, se ha podido realizar un estudio, con el fin de evaluar el nivel de eficiencia de los sistemas y equipos y caracterizar cargas y sus contribuciones a los consumos energéticos totales. Las diferentes categorías de cargas identificadas han sido las habituales en las auditorías energéticas y se describen a continuación.

La climatización es la carga más importante y solo en *Administrativo* baja del 50% del consumo total. Le sigue la iluminación y, excepto en *Deportivo*, que el ACS supone un 10%, en el resto la carga de *Otros* ocupa el tercer lugar.

Iluminación:

Incluye tanto la iluminación interior como la exterior en los edificios que cuenten con ella. Las lámparas existentes son principalmente fluorescentes T8, halógenas, incandescentes, halogenuros metálicos y de vapor de sodio a alta presión, existiendo muy pocas con tecnología LED. Por tanto, se puede considerar que actualmente el consumo en iluminación tiene un alto margen de mejora.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Climatización:

Incluye todos los equipos que integran la climatización (calefacción y refrigeración), desde calderas (gas natural o gasóleo), hasta bombas de calor, enfriadoras, equipos autónomos, unidades terminales, radiadores eléctricos y sistema de bombeo.

La eficiencia de la mayoría de estos equipos es baja en referencia a los que actualmente existen en el mercado. En cuanto al sistema de distribución y bombeo, en muchas de ellas, el aislamiento es deficiente o inexistente. A su vez, este consumo está directamente ligado a la envolvente del edificio y ésta, a su vez, al año de construcción, cuanto más antiguo sea peor envolvente y, por tanto, mayores pérdidas que repercuten en un mayor consumo.

Agua caliente sanitaria (ACS):

Sistemas para el calentamiento de agua caliente sanitaria, calderas específicas, mixtas (con calefacción) y termos o calentadores eléctricos.

De la información analizada, no se ha podido valorar la aportación solar mediante sistemas de captación solar térmicos. Si bien se ha constatado la existencia de más de un centenar de este tipo de instalaciones no se han podido conocer sus rendimientos y contribución real a la demanda energética de los edificios municipales, lo que puede implicar que, en muchos de los casos, estas instalaciones no estén operativas.

Otros:

Equipos elevadores, ofimáticos, electrodomésticos y equipos auxiliares, principalmente. Al igual que en iluminación se puede considerar que esta carga está prácticamente 100% electrificada, si bien podrían entrar consumos de gas natural para cocinas.

Para visualizar mejor cual es la distribución de consumos por cada tipo de instalaciones o cargas existentes en los edificios según su tipología se ha realizado la **Tabla 3-11**.

Tabla 3-11. Distribución de consumos por cargas y tipología de edificio.

	Consumo de iluminación (%)	Consumo de climatización (%)	Consumo de ACS (%)	Consumo de otros (%)
Administrativo	27%	48%	3%	22%
Cultural	19%	71%	4%	7%
Deportivo	11%	76%	10%	3%
Educativo	16%	78%	1%	5%
Otros	8%	81%	3%	8%
Seguridad ¹⁵	-	-	-	-
Servicios Sociales	16%	74%	3%	7%

 $^{^{\}rm 15}$ No se han podido analizar auditorias o estudios energéticos de edificios de esta tipología.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

De forma general, se puede apreciar que la climatización es la mayor carga en todas las tipologías existentes, aunque el porcentaje cambia según el uso y la morfología del edificio. La demanda en calefacción depende de diversas variables como el clima de Madrid, la envolvente y el tamaño de los edificios (generalmente se trata de edificios grandes y de construcción antigua), así como de los sistemas anticuados y poco eficientes y de la falta de apoyo de fuentes renovables que cubran parte de esta demanda.

A partir de la distribución por tipos de cargas y con los datos de consumos energéticos anuales, se han calculado indicadores de desempeño energético (IDEn) en forma de consumo de **energía final** por unidad de superficie. El análisis estadístico se ha realizado obteniéndose el promedio y dos percentiles, con objeto de eliminar la aparición de valores extremos debidos a particularidades de algunos de los edificios y a la inexactitud de los datos introducidos (consumos y en especial, superficies).

Comportamiento energético de edificios tipo Administrativo

En esta tipología se encuentran varios de los mayores consumidores (por encima de los 1.000 MWh/anuales de consumo total) lo que queda de manifiesto al ocupar el 5º lugar en número de edificaciones, apartando el 8% del total, y el tercer lugar en cuanto a contribución del consumo total energético, con el 17% del total. Es una de las tipologías más electrificada, con más del 71% del consumo total.

En esta tipología el consumo se concentra en el horario de oficina (9:00-17:00h) y en algunos casos con el de atención al público, alargando la jornada entre 2 y 3 horas más, pudiendo existir algo de actividad los sábados por la mañana, en algunos de los edificios o locales con atención al público.

	Administrativo			
	Contribución sobre el total	P75 (kWh/m²)	Mediana (kWh/m²)	P25 (kWh/m²)
Iluminación	26%	43	31	23
Climatización	48%	79	56	42
ACS	3%	5	3	2
Otros	22%	37	26	20
TOTAL	-	164	116	87

Tabla 3- 12. IDEn: consumo energético por unidad de superficie en edificios Administrativos.

La principal carga, como en el resto de tipologías, es la climatización, aunque en *Administrativo* tiene el consumo por metro cuadrado más bajo (mediana de 56 kWh/m²). En esta tipología nos encontramos con una mayor electrificación de la climatización mediante el uso de bombas de calor. En muchos casos, a pesar de tener sistemas centralizados, es habitual encontrarse equipos autónomos, menos eficientes.

En general son edificaciones de construcción muy reciente o que han tenido remodelaciones o. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, su envolvente no cumple con los criterios de



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

máxima eficiencia y, por tanto, la demanda para climatización es elevada, a pesar de que la presencia de sistemas de climatización eficientes es mayor que en el resto de otras tipologías.

En este tipo de edificios la carga por iluminación es importante, debido al tipo de uso y, de hecho, ocupa el primer puesto en kWh/m² de las tipologías analizadas. Esto y la ineficiencia general de las luminarias, hace que la iluminación sea la segunda carga de energía sobre el consumo total. En el apartado de iluminación, es importante el diseño de la distribución de los puestos de trabajo y su número, así como el aprovechamiento de la iluminación natural. Se echa en falta el aprovechamiento de la iluminación natural, bien por las características del edificio, bien porque no se han tenido en cuenta a la hora de distribuir los puestos de trabajo.

La siguiente carga es la de *Otros* o Equipos, que de nuevo ocupa el primer puesto de entre todas las tipologías ya que *Administrativo* tiene una alta potencia instalada de equipos ofimáticos, así como de ascensores, con un uso frecuente debido a la cantidad de personas que trabajan en estos edificios y a que, además, son utilizados por el público.

En último lugar se sitúa el consumo de ACS, que se puede considerar marginal con relación al resto.

Comportamiento energético de edificios tipo Cultural

En esta tipología podemos encontrar bibliotecas, centros sociales y culturales. Los horarios son más amplios que en *Administrativo*, llegando a ampliarse hasta las 22:00h en verano, y con apertura los fines de semana y festivos.

Ocupa el 4º puesto tanto en contribución en número edificios al total como en consumo de energía. El promedio de sus superficies se sitúa en la media del conjunto del parque inmobiliario municipal, que ronda los 2.000 m².

	Cultural			
	Contribución sobre el total	P75 (kWh/m²)	Mediana (kWh/m²)	P25 (kWh/m²)
Iluminación	19%	31	21	14
Climatización	71%	115	79	52
ACS	4%	6	4	3
Otros	7%	11	8	5
TOTAL	-	163	112	74

Tabla 3-13. IDEn: consumo energético por unidad de superficie en edificios Culturales.

Debido a que este tipo de edificios tienen una menor potencia instalada de equipos y a que el consumo de ACS sigue siendo poco habitual, la distribución de consumos se centra en la iluminación (carga más importante en las bibliotecas que en los centros culturales) y, por supuesto, en la climatización que, como en el resto, es la carga más representativa, aunque con un IDEn por debajo de la media.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Comportamiento energético de edificios tipo Deportivo

Se trata de centros deportivos (la mayoría con piscinas climatizadas), instalaciones deportivas y vestuarios. Este tipo de instalaciones tienen un horario más amplio, incluyendo fines de semana y festivos. En cuanto a superficies, se sitúa ligeramente por encima de la media con 2.300 m².

Tabla 3-14. IDEn: consumo energético por unidad de superficie en edificios Deportivos.

	Deportivo					
	Contribución sobre el total	P75 (kWh/m²)	Mediana (kWh/m²)	P25 (kWh/m²)		
lluminación	11%	39	21	5		
Climatización	76%	275	149	37		
ACS	10%	37	20	5		
Otros	3%	10	5	1		
TOTAL	-	361	195	48		

En número de instalaciones ocupa el 2º puesto sobre el conjunto del parque inmobiliario municipal, con el 18%, mientras que sobre el consumo total representa el 25%, ocupando el primer puesto. Es la segunda tipología menos electrificada, detrás de *Educativo*, y la que mayor número de instalaciones y consumo de gasóleo C mantiene.

Estos edificios son los grandes consumidores, con 33 instalaciones con consumos anuales superiores a 1.000 MWh, representando más del 20% del consumo total del Ayuntamiento debido, principalmente, a la existencia de las piscinas climatizadas, que demandan una gran cantidad de energía para el calentamiento del agua, así y a la adecuación de la temperatura del resto del edificio para el uso del público. Se sitúa en segundo lugar en kWh/m² de climatización de entre todas las tipologías.

Después de la climatización las principales cargas son la iluminación y el agua caliente sanitaria. En cuanto a la iluminación se trata de un consumo bastante representativo, debido principalmente a la elevada potencia instalada, consecuencia de las ineficientes lámparas instaladas en las pistas de deporte (halogenuros metálicos y/o vapor de sodio y mercurio).

Su IDEn en ACS, se sitúa en el primer lugar, muy por encima del resto, con 20 kWh/m² frente a los 6 kWh/m² de la tipología que ocupa el segundo lugar.

En este caso la baja electrificación y el elevado consumo en climatización y ACS abre las posibilidades a una mejora en la eficiencia mediante el paso a sistemas más eficientes y, por tanto, de reducción de consumos.

Comportamiento energético de edificios tipo Educativo

Tipología formada por colegios de primaria y de educación especial, escuelas infantiles, escuelas taller y centros de formación.

El horario de uso y ocupación abarca la semana laboral de lunes a viernes, de 9:00h a 17:00h, alargándose durante varias horas con actividades extra-escolares, pero con una menor



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

ocupación. La superficie media se sitúa en torno a los 2.500 m². Se caracterizan por el bajo consumo durante los meses de verano.

Educativo es la tipología más numerosa y la segunda en cuanto a contribución al consumo total. Además, es la menos electrificada.

Tabla 3-15. IDEn: consumo energético por unidad de superficie en edificios Educativos.

	Educativo					
	Contribución sobre el total	P75 (kWh/m²)	Mediana (kWh/m²)	P25 (kWh/m²)		
lluminación	16%	20	15	12		
Climatización	78%	104	80	62		
ACS	1%	2	1	1		
Otros	5%	7	5	4		
TOTAL	-	133	101	79		

En general son edificios de construcción antigua, con envolventes y cerramientos poco eficientes. La siguiente carga importante es la iluminación, que sigue los mismos criterios que en los edificios *Administrativos*. En último lugar se encuentra el consumo de *Otros*, debido a la poca potencia instalada, a las pocas horas de uso y al agua caliente sanitaria.

La incertidumbre en los valores de superficies construidas y que, por sus características, estas instalaciones tienen mayores superficies no edificadas (patios) y sin necesidades energéticas, hace pensar que los valores de los IDEn calculados podrían estar algo infravalorados. También hay que señalar que la tipología *Educativo* es la que menor horario de actividad y ocupación tiene lo que también influye a que el IDEn disminuya.

Comportamiento energético de edificios tipo Otros

Se trata de instalaciones de muy distinta tipología entre las que se encuentran aquellas que comparten un mismo edificio para diferentes usos y que podrían encuadrarse en más de una tipología, casetas de medio ambiente y otros que no tienen una tipología clara. Su contribución en consumo es pequeña, de un 6%. Su IDEn total es el segundo más elevado con 189 kWh/m².

Tabla 3- 16. IDEn: consumo energético por unidad de superficie en edificios Otros.

	Otros					
	Contribución sobre el total	P75 (kWh/m²)	Mediana (kWh/m²)	P25 (kWh/m²)		
lluminación	8%	20	14	10		
Climatización	81%	218	154	107		
ACS	3%	8	6	4		
Otros	8%	23	16	11		
TOTAL	-	269	189	132		



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Comportamiento energético de edificios tipo Servicios Sociales

Aquí podemos encontrar principalmente centros de día, de mayores, de acogida, de atención a la infancia y de servicios sociales. Su superficie media está por debajo de los 2.000 m².

Es la 3ª tipología con más edificios, representando el 14% del total, mientras que ocupa el 5º puesto en cuanto al consumo global, con un 11%. La contribución de cada suministro está prácticamente dividida al 50%.

Tabla 3-17. IDEn: consumo energético por unidad de superficie en edificios de Servicios Sociales.

	Servicios Sociales					
			Mediana (kWh/m²)	P25 (kWh/m²)		
lluminación	16%	30	22	17		
Climatización	74%	147	111	86		
ACS	3%	6	5	4		
Otros	7%	14	11	8		
TOTAL	-	197	149	115		

La distribución de *Servicios Sociales* se asemeja mucho a la de *Cultural*. Ambos comparten un horario de actividad parecido siendo, junto con *Deportivo*, las tipologías que alargan más su horario y con actividad los fines de semana y festivos.

En este caso existe un menor peso en iluminación en favor de la climatización debido, principalmente, a que se trata de centros de mayores y de atención a la infancia, que requieren mayor climatización.

Comportamiento energético de edificios tipo Seguridad

Son fundamentalmente unidades integrales de distrito (comisarías de policía municipal), bases de SAMUR y parques de bomberos. Tienen una superficie media de 2.000 m². Representa el 5% tanto en número de edificios e instalaciones como en el consumo global y es una tipología muy electrificada con una distribución 30/70.

A pesar de que no se ha podido analizar la distribución de las diferentes cargas, se han utilizado los datos de consumo y se han calculado unos IDEn totales, a partir de los que se han propuesto los valores por las diferentes cargas.

Tabla 3- 18. Propuesta de IDEn: consumo energético por unidad de superficie en edificios de Seguridad

	Seguridad				
	Contribución sobre el total	P75 (kWh/m²)	Mediana (kWh/m²)	P25 (kWh/m²)	
TOTAL	-	230	155	117	



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

3.6. Demanda y consumos energéticos, energía útil, final y primaria

Por las características de la información disponible y las necesidades del proyecto, se ha focalizado el análisis energético en términos de energía final, con el objetivo de evaluar la integración de sistemas de autoconsumo y, por tanto, sustituir la energía final cubierta por suministros energéticos externos, por energía generada en los propios puntos de consumo. Además, los datos de consumo son más accesibles que las demandas energéticas existentes, que solo pueden evaluarse tras una auditoria energética en profundidad y mediante la monitorización de las cargas existentes y de los rendimientos de los equipos.

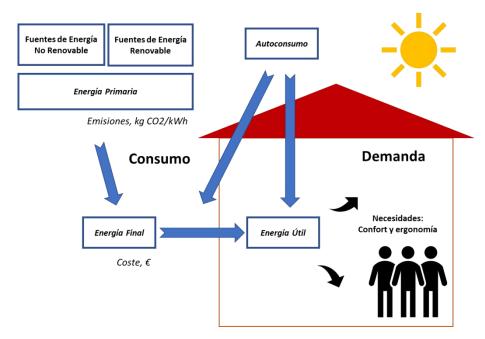


Ilustración 3-18. Demanda y consumo: diagrama del flujo de energía primaria final y útil.

Por simplificación, en muchos casos se han utilizado indistintamente los términos de demanda y consumo, sin especificar el tipo de energía a la que se hacía referencia. En el marco de una estrategia energética global hay que diferenciar, por una parte, la demanda de energía útil (calor, frío, iluminación, etc.) por parte del edificio, la energía final consumida, que es la facturada y por tanto la que se contabiliza a la hora de valorar los ahorros reales de las actuaciones hacia la autosuficiencia energética, y la energía primaria sustituida en el punto de generación con su correspondiente ahorro de emisiones, para evaluar de forma global la eficiencia del conjunto del sistema energético de la edificación.

Para contextualizar la información que se expone a continuación es necesario clarificar algunos de los conceptos, aunque ya se hayan tratado anteriormente. En los IDEn en forma de consumo por metro cuadrado expuestos anteriormente, este consumo hacía referencia a la energía final, la facturada y, como se ha indicado unas líneas más arriba, es la energía que en parte seria sustituida por la producción de sistemas de autoconsumo.

Por otra parte, se ha realizado un estudio energético de los edificios y en este ámbito es habitual hacer referencia a consumos de energía primaria. Para evaluar la energía primaria a partir de la energía final (medida en contadores) el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Digital determina unos factores de conversión y emisiones en función del tipo de suministro energético¹⁶. En la **Tabla 3-19** se muestran tanto la energía final como la primaria para cada uno de los suministros existentes de los últimos 3 años.

Tabla 3-19. Energía final y energía primaria total y por suministros. 2014-2016.

	Energía final (kWh)			Energía primaria (kWh)			
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	
Consumo Total	399.920.549	343.824.314	346.324.970	666.307.084	592.669.280	588.667.956	
Electricidad	161.462.259	155.668.961	149.697.194	382.342.629	368.624.100	354.482.955	
Gas natural	210.675.591	164.555.353	177.096.899	251.125.304	196.149.981	211.099.504	
Gasóleo C	27.782.699	23.600.000	19.530.877	32.839.150	27.895.200	23.085.497	

En la **Ilustración 3-19** se muestra como si se toma en consideración la energía primaria, la aportación de cada suministro varia, aumentado notablemente la participación del suministro eléctrico sobre el total.

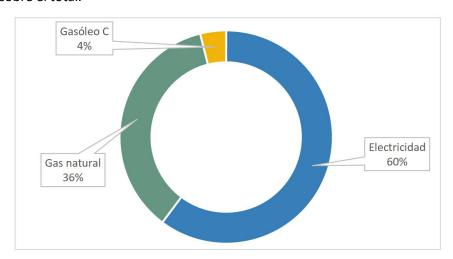


Ilustración 3-19. Distribución de suministros al total de energía primaria. 2016.

Se ha realizado, además, el ejercicio de determinar los coeficientes de paso y emisiones en función del mix energético municipal (ver **Tabla 3-20** en la siguiente página) a partir de los datos de facturación contabilizados y los coeficientes de paso definidos por el Ministerio.

Tabla 3-20. Factores de conversión del mix energético municipal analizado. 2014-2016.

	2014	2015	2016
Factores de conversión E. final y E. primaria mix municipal	1,666	1,724	1,700
Factores de emisiones de CO ₂ mix municipal (kg CO ₂ /kWh E. final)	0,288	0,292	0,289

¹⁶ FACTORES DE EMISIÓN DE CO2 y COEFICIENTES DE PASO A ENERGÍA PRIMARIA DE DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA FINAL CONSUMIDAS EN EL SECTOR DE EDIFICIOS EN ESPAÑA. (Resolución conjunta de los Ministerios de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento). 14 de enero de 2016.

Fundación Renovables



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

A partir de los factores de conversión, la participación de cada suministro en cada tipología y de los IDEn obtenidos anteriormente por cada una de las tipologías en función del consumo de energía final, se han obtenido los IDEn en función de la energía primaria.

En la Tabla 3-21se exponen los nuevos indicadores de consumo por metro cuadrado en función de la energía primaria. Es necesario aclarar en este punto que de nuevo los valores aquí obtenidos no son trasladables a los definidos por el certificado energético, ya que estos últimos solo tienen en cuenta la energía primaria de origen no renovable dentro del mix energético.

Se ha contabilizado un IDEn en la columna Edificio por tipología, sin la aportación al consumo de *Otros*, dado que tanto para la certificación energética como a la hora de definir políticas de eficiencia en la edificación a nivel europeo (nZEB, etc.) únicamente se suelen contabilizar los consumos asociados a climatización, iluminación y ACS (también se incluyen los sistemas de gestión, automatismo, etc., pensando en la mayor participación de los sistemas domóticos e inmóticos en un futuro).

Tabla 3-21. IDEn Consumos de energía primaria por metro cuadrado (Mediana) kWh/m².

Edificio	lluminación	Climatización	ACS	Otros	Edificio	Total
Administrativo	62	114	7	53	183	237
Cultural	41	151	8	14	199	214
Deportivo	32	229	31	8	292	301
Educativo	22	116	2	8	140	148
Otros	24	263	10	27	297	324
Seguridad	-	-	-	-	-	299
Servicios Sociales	40	197	9	19	-	264
Promedio ponderado	36	168	13	18	218	237

La normativa española actual (CTE HE) no facilita la comparación de estos indicadores, ya que se introducen diferencias cualitativas en función de las características del edificio (año de construcción, tamaño, demanda, etc.). Como muestra de las deficiencias en la normativa actual sobre certificación energética, indicar que, al contabilizarse únicamente energía primaria no renovable, se puede dar el caso de que un edifico poco eficiente y que incluso aumentase sus consumos energéticos, se podría ver favorecido por un incremento del peso de las renovables sobre el mix eléctrico nacional, mejorando su indicador a pesar de elevar sus consumos. Aunque las exigencias de limitación de la demanda y de consumos solo están dirigidas hacia edificios de nueva construcción o rehabilitación integral, se debería tener en consideración la necesidad de rehabilitar energéticamente el edificio dado su consumo de energía por m², muy superior a los estándares exigibles.

Los valores obtenidos en la columna *Edificio*, sin embargo, son un buen acercamiento a los indicadores que se pretenden establecer para identificar y diferenciar los edificios realmente



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

sostenibles de los ineficientes, tanto a nivel europeo como nacional (actualización del documento básico de ahorros energéticos del CTE).

De los resultados obtenidos se observa cuán lejos se encuentran los edificios municipales del objetivo de edificios de consumo casi nulo, que, a falta del establecimiento de un criterio nacional, el propio Ayuntamiento de Madrid ha propuesto que debería situarse por debajo de los 80 kWh/m² al año de consumo de energía primaria total asociada a las cargas del edificio y de 40kWh/m² si solo se contabiliza la climatización.

Estos niveles de exigencia se encuentran dentro de las recomendaciones que estableció la UE (RECOMENDACIÓN (UE) 2016/1318 DE LA COMISIÓN de 29 de julio de 2016) en el que para la zona mediterránea establecía unos valores de energía primaria entre 80-90 kWh/m² para oficinas, de los cuales al menos 2/3 partes deben ser cubiertas por fuentes renovables "in situ".



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

4. Análisis del potencial fotovoltaico en edificios municipales

Hasta ahora se han evaluado y caracterizado los consumos energéticos asociados al parque inmobiliario municipal y se ha propuesto un Escenario de Eficiencia a 2030. La segunda parte del proyecto analiza y determina el potencial fotovoltaico existente en el propio parque inmobiliario municipal para que, a la vez que se reducen los consumos, estos sean a su vez cubiertos por sistemas de generación en el propio punto de consumo. Para la generación de energía eléctrica en los edificios se han considerado exclusivamente los sistemas de aprovechamiento solar y, en especial, los sistemas fotovoltaicos.

4.1. Radiación solar en Madrid

Madrid se sitúa a la cabeza de las capitales europeas en niveles de radiación solar y potencial fotovoltaico, alcanzando los **1.746 kWh/m²** de media anual (ver Anexo IV: Recurso Solar en Madrid).

En la **Tabla 4-1** se muestra el valor de irradiación solar global anual estimado para un año tipo, que corresponde con la mediana estadística del histórico analizado. Además, se muestran los percentiles 10 y 90, como representativos de años en los extremos del rango de valores de irradiación anual estadísticamente posibles.

Tabla 4-1. Valores de radiación global anual en Madrid. (Estimación a partir de datos de las estaciones terrestres).

Año Tipo	P10	P90
1.746 kWh/m ²	1.659 kWh/m ²	1.800 kWh/m ²

La utilización de percentiles es una exigencia para evaluar el riesgo de cumplimiento de la producción. Un P10 refleja la garantía de que al menos en un 90% de los casos evaluados la radiación disponible ha sido mayor del valor reflejado. La variabilidad anual de la radicación global se situaría sobre un 3-4%. Este valor puede trasladarse a la productividad anual de una instalación tipo.



Ilustración 4-1. Distribución mensual de la radiación global en Madrid.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Madrid dispone de un potencial energético muy superior a la mayoría de las ciudades europeas, suficiente para cubrir sus necesidades energéticas y hacer frente a la realidad actual definida por una dependencia del exterior de más del 95% de la energía que consume. Además, el origen del 5% de la producción proviene de procesos de incineración de basuras que no se pueden considerar renovables ni sostenibles.

4.2. Datos de cubiertas y azoteas

Para evaluar el potencial fotovoltaico de los edificios municipales es necesario identificar y analizar las superficies de azoteas y cubiertas existentes. Para ello se han utilizado los datos de los que disponía el Ayuntamiento de Madrid. De los datos analizados, se han podido identificar y contabilizar las superficies de cubierta de 716 edificios municipales. Con objeto de ajustar lo máximo posible dicha superficie a los edificios en los que se han registrado los consumos más significativos, se han considerado solamente 608 edificios con datos de superficie de azotea de entre los 900 edificios con consumo significativo. (Ver **Tabla 4-2**).

Tabla 4-2. Superficies y edificios contabilizados.

	N.º de edificios	Superficie de azoteas (m²)
Superficie TOTAL	809	1.224.291
Superficie de edificios identificados	716	1.117.841
Superficie de edificios y consumos significativos	608	963.423

En la Tabla 4-3 se exponen los datos recopilados de una parte importante del parque inmobiliario municipal y se realiza una estimación del total de espacio de cubiertas en función del número de edificios existentes por tipologías.

Tabla 4- 3. Datos de superficie de azoteas y cubiertas analizadas y estimadas.

	N.º edificios selección	N.º edificios con superf.	Datos superf. (%)	Superficie azoteas análisis (m²)	Superficie azoteas total estimada (m²)	Distribución de cubiertas por tipologías
Administrativo	60	31	52%	57 205	89 169	7%
Cultural	107	81	76%	85.989	107.957	9%
Deportivo	140	53	38%	176.872	270.077	22%
Educativo	318	270	85%	470.762	551.513	45%
Otros	84	20	24%	27.733	43.479	4%
Seguridad	52	42	81%	49.427	54.680	4%
Servicios Sociales	139	111	80%	95.436	115.907	9%
Total	900	608	68%	963.423	1.232.782	100%



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Se han determinado las superficies promedio por tipología. Al existir una pequeña correlación entre superficie y consumo dentro de cada categoría, se han calculado superficies de cubiertas promedios en función de tres rangos de consumo.

Por otra parte, se ha analizado el número de edificios sin datos de superficie de cubierta en función de tipología y rango de consumo para, finalmente, junto a los promedios de los datos existentes estimar la superficie de azotea de los edificios sin datos. La superficie de cubiertas total estimada supera los 1,2 millones de m².

En la **Ilustración 4-2** se muestra la contribución de cada tipología de edificio a la superficie de azotea disponible, el consumo total, y el número de edificios.

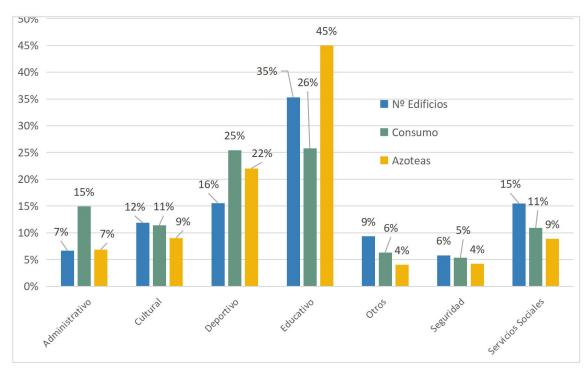


Ilustración 4-2. Distribución de edificios, consumos energéticos y azoteas disponibles por tipología.

De entre todas las tipologías, por disponibilidad de superficie, se pueden obtener algunas consideraciones de interés:

- Los edificios *Educativos* son los que más superficie de cubiertas aportan, con un 45% sobre el total, debido a dos factores: el primero es que también son los más numerosos (35%) y, el segundo, por su morfología, ya que, por lo general, se trata de edificios independientes y de gran amplitud.
- Los Deportivos aportan el 22% de superficies de azotea.
- Los de Servicios Sociales y Culturales el 9%.

En cuanto al tamaño de la azotea disponible *Deportivo* es la tipología con azoteas más amplias, con más de un 75% de los edificios por encima del 1.500 m². Le sigue *Educativo*, por encima de los 1.000 m² y le siguen las categorías de *Administrativo* y *Otros*, con más del 75% de los edificios por encima de 800 y 700 m² respectivamente. *Administrativo*, a pesar de tener el



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

edificio con la azotea más extensa (con más de 12.000 m²), el 90% de los edificios se sitúan por debajo de los 5.000 m².

4.3. Superficie aprovechable en edificios

La superficie estimada de cubiertas supera los 1,2 km². Sin embargo, se trata de superficie bruta, que nunca es aprovechable al 100%. Esta diferencia radica en que no toda la superficie de azoteas es válida para instalar sistemas fotovoltaicos debido principalmente a malas orientaciones, la existencia de equipos de climatización y ventilación, sombreamientos existentes, lucernarios o cubiertas que no pueden soportar el peso adicional que supone la instalación fotovoltaica.

Por ello, con el fin de conocer cuál es la superficie real aprovechable, se ha realizado un muestreo con varios edificios y una estimación del porcentaje de superficie aprovechable en condiciones de utilización, sin modificar la configuración de las azoteas existentes en relación la superficie disponible total, obteniéndose un coeficiente global aproximado del 50%. Este coeficiente global se podría aumentar, como se explicará más adelante, mediante estructuras fotovoltaicas complejas y/o realizando rehabilitaciones integrales en los edificios en los que se tenga en cuenta este tipo de instalaciones.

Si se aplica el coeficiente obtenido, hoy en día, la superficie de azoteas municipales susceptible de ser utilizada para instalaciones de sistemas de aprovechamiento solar se sitúa en torno a los **600.000 m².**

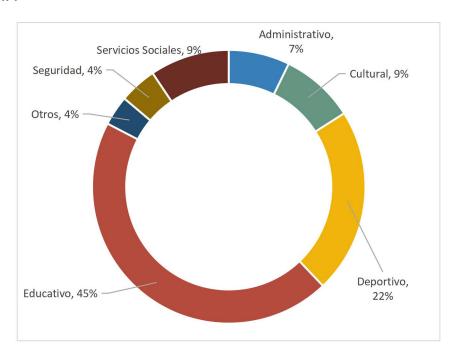


Ilustración 4-3. Distribución del espacio aprovechable en azoteas por tipologías.

En la **Ilustración 4-3** se muestra la distribución de este espacio aprovechable estimado por tipologías. Aunque se ha utilizado un único coeficiente de aprovechamiento para todas las tipologías, en las que precisamente aportan mayor superficie, *Educativo* y *Deportivo*, el



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

coeficiente de aprovechamiento es mayor que en el resto de edificios, por lo que obviamente, la cobertura de la demanda en edificios diferentes a Educativo y *Deportivo* será menor.

Hay que destacar la escasa información sobre azoteas en las categorías de *Otros* que, por otra parte, incluyen solo 6 edificios con grandes consumos (por encima del 1 GWh/año de consumo energético total).

Se ha realizado un análisis para la distribución de espacios aprovechables por tipologías cuyo resumen se incluye en la **Ilustración 4-4** y del que se pueden sacar conclusiones por tipología de edificio.

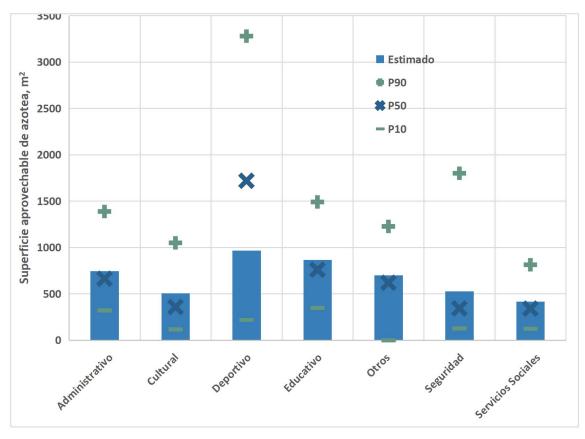


Ilustración 4-4. Análisis de la distribución de espacios aprovechables por tipologías.

- **Educativo** es la tipología que dispone de más espacio aprovechable. Tanto la superficie promedio estimada como la media de los datos disponible se sitúan en torno a 800 m².
- En *Deportivo*, a pesar de ser una de las tipologías más consumidoras, las superficies contabilizadas representan menos del 40%. Aunque en este caso también existen instalaciones deportivas al aire libre sin edificaciones relevantes ni grandes consumos. Es la tipología con el promedio de superficie estimado aprovechable más elevado, cercano a los 1.000 m², mientras que el valor medio es de más de 1.700 m². Además, es la que tiene una distribución de la superficie más dispersa.
- Otros, aporta un 4% del espacio aprovechable y es la cuarta tipología en cuanto a valores medios de superficie (muy similar a *Educativo*), entorno a los 700 m². Es la tipología con menos datos disponibles.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

- *Cultural* y *Servicios Sociales* son las siguientes tipologías que aportan mayor superficie, con valores medios de 500 y 400 m², respectivamente.
- Administrativo representa la tercera tipología en cuanto a consumo y es la 5ª en espacio aprovechable en las azoteas, aunque en promedio superan los 700 m² de espacio aprovechable.
- Finalmente, de las tipologías con datos disponibles, **Seguridad** se sitúa con una superficie estimada promedio de 500 m² (350 m² de valor medio de los datos disponibles).

Adecuación de espacios y rehabilitación de azoteas

Los dos impedimentos principales para el aprovechamiento máximo del espacio en las azoteas son las instalaciones y conductos de climatización y ventilación y la morfología irregular.

En el primer caso, durante la rehabilitación integral del edificio o las actuaciones específicas de modernización de equipos, pueden realizarse cambios en estos últimos liberando el espacio más óptimo para la instalación fotovoltaica.

Cuando el problema es la morfología irregular de la azotea o la cubierta, pueden utilizarse supra estructuras que salven las irregularidades existentes y que, a su vez, faciliten la instalación de módulos sobre planos con inclinación y orientación óptimas. Estos sistemas encarecen la instalación, pero permiten aprovechar al máximo la envolvente del edificio y la mejora del comportamiento térmico del propio edificio (sombras, aislamiento térmico, etc.).

En edificios de nueva obstrucción, el diseño y la planificación han de estimar su consumo y, en función de las necesidades, facilitar la implantación de sistemas fotovoltaicos con orientaciones e inclinaciones óptimas, en azoteas, fachadas y cualquier otro elemento.

En el presente informe, se ha propuesto rehabilitar al menos el 50% de la superficie construida. Si se mantiene la relación superficie total construida (3,3 millones de m²) con la superficie de azotea (1,2 millones de m²), se podrían rehabilitar 600.000 m² de azoteas.

Las medidas para ampliar la superficie son muy variadas y en cada edificio el aumento puede variar. De forma generalizada se ha estimado que se puede mejorar el aprovechamiento de 1/3 de la superficie que no se estaba aprovechando hasta ahora (50%), lo que equivaldría a algo más de 100.000 m² adicionales por la rehabilitación de azoteas.

Fachadas

Además de las azoteas o cubiertas, las fachadas son parte de la envolvente de un edificio que puede ser aprovechable para la instalación de sistemas fotovoltaicos. La superficie de fachada aprovechable es difícil de evaluar sin un análisis de cada uno de los edificios, pero con objeto de dar un acercamiento al potencial existente, en la **Tabla 4-4** se ha realizado una evaluación teórica conservadora. Para ello, se asume que el área ocupada por los edificios es cuadrada e igual a la superficie ocupada por la azotea o cubierta y que únicamente se utiliza la parte superior (3 metros equivaldrían a la última planta) de una de las cuatro fachadas.

A su vez, si tenemos en cuenta edificios singulares cuya fachada está protegida, aquellos cuya envolvente esté totalmente acristalada o ventanas y otros elementos constructivos que



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

impidan la instalación de paneles fotovoltaicos, la superficie aprovechable seria de 72.017 m². Por tamaños reducidos o por menores capacidades de producción a efectos de identificar el potencial existente se han considerado 35.000 m² adicionales.

Al igual que ocurre en el caso de las cubiertas, este coeficiente es bastante conservador, pudiendo incrementarse utilizando sistemas fotovoltaicos integrados como el vidrio fotovoltaico para ventanas y lucernarios, aunque en este caso no se han contabilizado.

Tabla 4-4. Estimación de espacios disponibles en fachadas.

	N.º de edificios	Superficie promedio (m²)	Perímetro cuadrado (m)	Fachada (m)	Área de fachada Superior (m²)	Área total (m²)
Administrativo	60	743	109	27	82	4.907
Cultural	107	504	90	22	67	7.210
Deportivo	140	965	124	31	93	13.044
Educativo	318	867	118	29	88	28.093
Otros	84	701	106	26	79	6.672
Seguridad	52	526	92	23	69	3.577
Servicios Sociales	139	417	82	20	61	8.515
Total	900	675	103	26	77	72.017

En la **Tabla 4-5** se muestra todo el espacio aprovechable identificado en los 900 edificios municipales evaluados que ascendería a 735.000 m², a partir de los que se ha realizado el estudio energético.

Tabla 4-5. Superficie aprovechable para sistemas de autoconsumo fotovoltaicos en edificios municipales.

	Superficie aprovechable (m²)
Cubiertas y azoteas	600.000
Rehabilitación	100.000
Fachadas	35.000
Total	735.000

4.4. Potencia instalable

En este apartado se define un valor de la superficie de cubierta necesaria para instalar un kW fotovoltaico. Este valor depende del diseño, de las condiciones de las cubiertas y de las pérdidas por sombreamiento entre módulos consideradas durante la fase de diseño. No es lo mismo instalar varias líneas de módulos sobre una estructura inclinada que instalar todos los módulos sobre un mismo plano inclinado, aprovechando las características del tejado. En cubierta inclinada los aprovechamientos son máximos, por lo que es más recomendable la instalación sobre este tipo de cubiertas, siempre que cuenten con una orientación adecuada.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

En función de la tecnología, calidad y diseño de la propia instalación, el espacio necesario para instalar un kW fotovoltaico puede variar de forma significativa.

En el presente documento, se han evaluado diferentes configuraciones basada todas en la tecnología de silicio cristalino. Se han realizado diversas combinaciones variando la eficiencia del módulo, la necesidad de espacio, en función del dispositivo en inclinación, y el rango de productividades en función de la orientación e inclinación de los módulos.

La evaluación se ha realizado focalizándose en sistemas fotovoltaicos basados en silicio cristalino, que, hoy en día, es la tecnología más madura, eficiente y con mayor penetración en el mercado.

No se han considerado sistemas basados en lámina delgada que, aunque con una menor eficiencia, son más versátiles a la hora de aprovechar la integración arquitectónica y, por tanto, óptimos para aprovechar espacios que en principio son descartados.

En la **Tabla 4-6** se evalúa el área necesaria para instalar un kW fotovoltaico en función de la eficiencia del módulo fotovoltaico y la ratio de ocupación de superficie de azotea disponible. En esta evaluación se han considerado únicamente eficiencias de módulos fotovoltaicos de silicio cristalino.

F6:-:	Área	Superficie ocupada por un 1 kW fotovoltaico (m²)							
Eficiencia módulo	módulo modulo FV Ratio de Ocupación del Terreno o CGR (Sup. fotovoltaica/Suj						ica/Sup. a	zotea)	
modulo	/ 1kW (m ²)	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,90
0,15	6,7	17	15	13	12	11	10	10	7
0,16	6,3	16	14	13	11	10	10	9	7
0,17	5,9	15	13	12	11	10	9	8	7
0,18	5,6	14	12	11	10	9	9	8	6
0,19	5,3	13	12	11	10	9	8	8	6
0,20	5,0	13	11	10	9	8	8	7	6
0,25	4,0	10	9	8	7	7	6	6	4
0,30	3,3	8	7	7	6	6	5	5	4

Tabla 4-6. Superficie de azotea para instalar un kW en función de la eficiencia y el CGR.

Una instalación mediante estructuras inclinadas, bien diseñada y optimizada tendría una ratio de ocupación del terreno o CGR de en torno a 0,5. A medida que la inclinación adicional del panel disminuye, el CGR aumenta hasta llegar al caso de una cubierta inclinada, en la que se ocuparía el 100% de la superficie. Aunque, en la mayoría de estos casos, la necesidad de espaciar los módulos y ramas para que sean accesibles a técnicos hace que esa ocupación no debiera superar el 90%. Este aumento de la ocupación trae consigo un aumento de la producción, ya que se podría instalar mayor potencia que compensaría la disminución de la productividad debida a la menor inclinación de módulos.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

En el caso de una instalación tipo sobre suelo (filas de estructuras con inclinaciones óptimas) es habitual que el diseño de la implantación de los módulos sea tal que la ratio de ocupación se sitúe entre 0,45 y 0,5. En azoteas planas, aunque este diseño es factible, dada la limitación de espacios es recomendable disminuir el ángulo de inclinación para permitir aumentar ligeramente la ratio de ocupación.

En el caso de cubiertas inclinadas o fachadas, la ratio de ocupación se situaría en torno a 0,9, pudiéndose reducir ligeramente si es necesario optimizar el ángulo de inclinación o aprovechar la instalación como elemento de sombreamiento.

En esta evaluación se han seleccionado los valores de 15 m²/kW, 10 m²/kW y 6 m²/kW para, junto con la categoría de espacio aprovechable estimado anteriormente, evaluar el potencial fotovoltaico instalable en el conjunto de los edificios, tal como se muestra en la **Tabla 4-7**. Estas estimaciones son conservadoras, redondeando los valores siempre a la baja, para evitar contabilizar potencial no existente.

	Cubiertas		Rehabilitación		Fachadas	7.7	Potencia total edificios (MW)			
Superficie (m²)	6	500.000)	100.000		35.000	-			
m²/kW	15	10	6	15	10	6	6	15	10	6
Potencia FV (MW)	40	60	10	6	10	16	5	52	75	122

Tabla 4-7. Estimación de potencia fotovoltaica instalable en edificios (autoconsumo).

En el planteamiento de este proyecto, con vistas a determinar la planificación de la instalación de sistemas fotovoltaicos, se ha optado por utilizar el valor medio de **10 m²/kW** atendiendo a la existencia de cubiertas inclinadas con necesidades de ocupación más bajas, la mejora de los sistemas y que los diseños han de optimizar el espacio para alcanzar la potencia necesaria para cubrir el máximo de los consumos asociados al edifico. Hay que tener en cuenta, además, que en los próximos años la mejora de los rendimientos permitirá aumentar la potencia en el mismo espacio disponible.

4.5. Producción fotovoltaica

Una forma de evaluar la producción de los sistemas fotovoltaicos (HEN - Horas Equivalentes Netas) es calcular la energía anual producida y dividirla por la potencia pico fotovoltaica o productividad final del sistema. Existen muchos estudios acerca de la productividad anual tipo de los sistemas fotovoltaicos en función de su localización, si bien en la mayoría de los casos son sistemas sobre suelo y con orografías óptimas que a veces es difícil encontrar en entornos urbanos.

El progreso en los módulos e inversores y en los diseños, ha mejorado, y se espera que siga mejorando, la productividad de los sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, las instalaciones sobre cubiertas en general siempre tendrán mayores pérdidas por sombreamiento o por desviaciones sobre la orientación óptima. Tal como se muestra en la **Ilustración 4-5** el rango



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

de productividades es muy amplio cuando se asumen pérdidas de hasta el 15% por desviaciones de la orientación e inclinación óptimas.

				Inclina	ción res	pecto a	la horizo	ntal en g	grados		
	%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	-90	14,5	15,1	17,0	19,5	22,6	26,4	32,1	37,9	44,8	52,4
	-80	14,5	13,8	13,8	15,7	18,2	22,0	27,0	32,7	40,0	48,1
	-70	14,5	12,6	11,9	11,9	13,8	17,6	22,0	28,3	35,8	44,3
	-60	14,5	11,3	9,4	9,4	10,7	13,8	18,2	24,5	32,1	41,2
	-50	14,5	10,1	7,5	6,3	7,5	10,1	14,5	21,4	28,9	38,6
	-40	14,5	9,4	5,7	4,4	4,4	7,5	11,9	18,2	27,0	37,1
os	-30	14,5	8,2	4,4	2,5	2,5	5,0	9,4	16,4	25,2	35,8
grados	-20	14,5	7,5	3,1	1,3	1,3	3,1	8,2	15,1	23,9	35,2
en g	-10	14,5	7,5	2,5	0,6	0,0	2,5	6,9	13,8	23,3	35,2
	0	14,5	7,5	2,5	0,0	0,0	2,5	6,9	13,8	23,3	35,2
Azimut	10	14,5	7,5	3,1	0,6	0,6	2,5	7,5	14,5	23,9	35,2
₹	20	14,5	8,2	3,8	1,3	1,3	3,8	8,8	15,1	24,5	35,8
	30	14,5	8,8	4,4	3,1	3,1	5,7	10,1	17,0	25,8	36,5
	40	14,5	9,4	6,3	5,0	5,7	8,2	12,6	19,5	27,7	37,7
	50	14,5	10,1	8,2	6,9	8,2	11,3	15,7	22,0	30,2	39,7
	60	14,5	11,3	10,1	10,1	11,3	14,5	19,5	25,8	33,3	42,3
	70	14,5	12,6	12,6	13,2	15,1	18,9	23,3	29,6	37,1	45,5
	80	14,5	13,8	15,1	16,4	19,5	23,3	28,3	34,0	41,3	49,2
	90	14,5	15,7	17,6	20,1	23,3	27,7	32,7	39,1	46,0	53,5

Ilustración 4-5. Pérdidas de productividad anual (%) en función de la orientación e inclinación. (Cálculo realizado con el PVGis, para Madrid).

Generación fotovoltaica de autoconsumo en edificios municipales

Se han realizado diversas estimaciones de productividad en diferentes azoteas de edificios municipales, teniendo en cuenta tanto la orientación e inclinación como las pérdidas por sombreamiento.

Las productividades sobre instalaciones óptimas en las que se han minimizado al máximo las pérdidas de sombreamiento, alcanzan los 1.550-1.600 kWh/kWp, mientras que en la mayoría de los casos sobre azoteas y cubiertas reales nos encontramos con productividades inferiores. De los diferentes edificios evaluados nos encontramos con productividades entre 1.400-1.500 kWh/kWp, en función del diseño y los equipos utilizados. Sin embargo, si se evaluasen situaciones menos óptimas o con pérdidas por sombreamiento superiores, se podrían dar productividades más reducidas, de en torno a 1.300 kWh/kWp sobre azotea y de 900-1000 kWh/kW para fachadas mal orientadas o con sombras.

Estos valores de productividades (ver **Tabla 4-8**) pueden tomarse como criterios básicos de diseño, exigiendo que, en función del tipo de emplazamiento, las instalaciones propuestas no bajen de estos valores. A lo largo de la instalación de la potencia establecida en esta Hoja de Ruta, el aumento de los rendimientos de los equipos aumentará estos valores, aunque seguirán siendo válidos como criterios mínimos.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Tabla 4-8. Productividades tipo según emplazamientos.

	Productividades anuales (kWh/kWp)
Cubierta inclinada y azoteas óptimas	1.500 - 1.600
Azoteas planas	1.400
Fachadas	900 - 1.000

En la *Tabla 4-9* se muestra la evaluación de la producción fotovoltaica en función de la estimación de la potencia fotovoltaica instalable. Se recogen las producciones estimadas que se pueden alcanzar en función de los diferentes casos estudiados. Se ha evaluado la participación de las diferentes configuraciones posibles: azoteas, fachadas, etc. y su correspondiente productividad media sobre el total de la potencia instalada.

Tabla 4-9. Estimación de la producción fotovoltaica en edificios municipales. (En MWh).

Ocupación		Producción fotovoltaica en edificios municipales (MWh)					
		15 (m²/kWp)	10 (m²/kWp)	6 (m²/kWp)			
	Potencia FV (MWp)	52	75	122			
	1.300	67.600	97.500	158.600			
Productividad (kWh/kWp)	1.400	72.800	105.000	170.800			
(KVVII/KVVP)	1.500	78.000	112.500	183.000			

De esta forma, ha sido posible determinar que la productividad media no se aleja de los 1.400 kWh/kWp si se mantienen unos criterios de elección del emplazamiento y de diseño adecuados (ver Anexo V), con un máximo de un 15% de pérdidas de orientación e inclinación, un límite de un 5% de pérdidas por sombreamiento y utilizando los mejores equipos que existen en el mercado (módulos fotovoltaicos con eficiencias por encima del 18% e inversores por encima del 98%).

En la **Tabla 4-10** se puede ver la distribución del potencial fotovoltaico y la estimación de la generación total de los sistemas FV de autoconsumo, para las tipologías de edificios existentes.

Tabla 4-10. Distribución del potencial fotovoltaico en función de la tipología de edificios.

	Potencia Fotovoltaica (MWp)	Producción Fotovoltaica (MWh)
Administrativo	5,4	7.570
Cultural	6,6	9.269
Deportivo	16,2	22.779
Educativo	33,2	46.636
Otros	3,0	4.042
Seguridad	3,4	4.689
Servicios Sociales	7,2	10.015
Totales	75,0	105.000



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Para estimar el potencial fotovoltaico se han utilizado los siguientes parámetros, considerándose estos como valores medios razonables. Sobre un valor de ocupación de 10 m²/kWp, se ha aplicado la correspondiente productividad media estimada de 1.400 kWh/kWp, lo que supone una potencia instalable total de 75 MWp y una producción de energía eléctrica de 105.000 MWh-año.

4.6. Aprovechamiento de otros espacios municipales

Además del espacio disponible en los edificios municipales, se han identificado otros espacios, en algunos casos dentro de la misma instalación o edificio, como patios, canchas, etc. y otros con consumos poco significativos o ajenos a los propios edificios, lo que supondría dejar de ser instalaciones de autoconsumo propiamente dichas, para pasar a entrar en la categoría de generación distribuida.

Pérgolas y estructuras en espacios públicos urbanos

Algunas tipologías de edificios municipales cuentan con espacios abiertos, dónde es factible la instalación de una estructura o pérgolas para albergar módulos fotovoltaicos, aumentando así la superficie disponible para este fin y consiguiendo mayores producciones que cubran la demanda. Tipologías como *Educativo* y *Deportivo*, con grandes espacios abiertos gracias a las pistas deportivas, son excelentes candidatas para este fin, y conllevarían otras mejoras debido al doble uso de este tipo de estructura (sombreamiento, aprovechamiento de espacios con meteorología adversa, etc.).

Dentro de estas tipologías existen más de 450 edificios o instalaciones dentro de los 900 edificios evaluados, que en su mayoría disponen de espacios abiertos susceptibles de instalar pérgolas o cubiertas fotovoltaicas.

Pero también existen otras zonas propicias como parques, plazas o cantones de limpieza (*Otros*) que, aunque suelen tener consumos poco significativos o nulos, son aptos para instalaciones fotovoltaicas que abastecieran a edificios o instalaciones municipales cercanas mediante una red interna, una red de alumbrado público o para verter su generación a la red.

Estas instalaciones deberán diseñarse atendiendo a su doble concepción: como instalaciones de sombra o mejoramiento de los espacios e instalaciones públicas y como sistemas de generación fotovoltaica.

Proyectos como el Ecobulevar de Vallecas, en el que se combina la generación renovable con la plantación de arbolado y zonas verdes que combaten el efecto isla de calor, pueden servir de ejemplo a la hora de diseñar nuevos planes de actuación sobre los espacios públicos como parques, plazas y avenidas.

Este tipo de instalaciones, además, permiten, desde su diseño, disponer los sistemas fotovoltaicos en inclinaciones óptimas minimizar el espacio necesario (6-10 m²/kWp) y, por tanto, mejorar sus productividades, superando los 1.400 kWh/kWp estimados en el presente proyecto.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Aparcamientos disuasorios

Debido a los problemas de movilidad y contaminación que sufre Madrid, se ha planificado la construcción de 12 aparcamientos disuasorios en el extrarradio de la ciudad. En total suponen más de 100.000 m² de suelo, sobre los cuales podrían construirse cubiertas fotovoltaicas que, sin contabilizar los viales, supondrían 70.000 m².

Estos emplazamientos además permiten optimizar la instalación, siendo perfectamente viable el diseño de pérgolas con inclinaciones óptimas (30-36°) y con una ratio de ocupación de más del 0,9 y 6 m²/kWp; que conllevaría productividades de 1.500 kWh/kWp.

Estos aparcamientos, al situarse en las afueras, no suelen tener edificios municipales cercanos a los que abastecer, pero sí son idóneas para la implantación de "electrolineras", pudiendo utilizarse para vender la energía generada a vehículos eléctricos particulares o conectarlos a los sistemas de transporte municipal electrificados, consiguiendo así que éstos se alimenten con energías renovables y no contaminen ni en origen ni en la energía final.

Instalaciones sobre suelo municipal

Existen otros espacios municipales, sin consumos o con consumos poco significativos asociados, aptos para instalaciones fotovoltaicas que mediante la inyección a la red de distribución o a redes propias puedan cubrir los consumos energéticos municipales no cubiertos por los sistemas de autoconsumo.

El Ayuntamiento de Madrid cuenta con terrenos municipales en los que poder realizar grandes instalaciones fotovoltaicas sobre suelo. Gracias a esta medida se pueden cubrir otras necesidades energéticas como el alumbrado público exterior, la creciente implantación de los vehículos eléctricos o aquella demanda que no se pueda satisfacer mediante las instalaciones de autoconsumo.

El potencial existente en suelo libre del Ayuntamiento de Madrid es enorme. En estos espacios abiertos, la optimización del diseño (12 m²/kW) permite alcanzar productividades máximas por encima de 1.500 kWh/kWp y a un coste muy inferior a otros tipos de instalaciones, por lo que representan una oportunidad que ha de valorase.

Las plantas de generación distribuida, además de garantizar la autosuficiencia del propio Ayuntamiento, pueden servir para mitigar la pobreza energética de los ciudadanos de Madrid, ya que gracias a ellas el ayuntamiento tendría un empoderamiento energético suficiente como para tomar medidas que mitiguen este problema, tan presente en la sociedad actual y consecuencia de los años de crisis que arrastramos.

Para alcanzar un **Escenario de Autosuficiencia Madrid 2030**, 100% sostenible energéticamente, es necesario, junto con los sistemas de autoconsumo fotovoltaicos sobre azoteas, encontrar la combinación óptima en coste y oportunidad, entre el aprovechamiento de otros espacios abiertos, en parques y otras zonas públicas como avenidas y plazas, y grandes instalaciones sobre suelo.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

4.7. Potencial fotovoltaico y gestión de la producción

El potencial fotovoltaico estimado hasta ahora solo ha evaluado el espacio disponible y los criterios de diseño de la instalación, sin embargo, en el caso de instalaciones de autoconsumo, es importante que el perfil de consumo del edificio asociado se acople con el perfil de generación fotovoltaica, con el fin de maximizar la rentabilidad de la instalación al minimizar el intercambio con la red general de suministro. Por tanto, globalmente el Ayuntamiento, y pensando en el futuro, deberá plantarse consumos y producciones agregadas ya que deberá comportarse como un consumidor productor único. Si se analiza esta situación, considerando la instalación de los 75 MWp, el 30% del consumo actual (2016) de electricidad seria aportado por las instalaciones fotovoltaicas, mientras que el 70% restante debería ser cubierto por otras instalaciones renovables mediante modelos de generación distribuida según se refleja en la **Tabla 4-11.**

Tabla 4- 11. Cobertura fotovoltaica.

	Sobre Consumo Total en 2016
Consumo total	346 GWh
Cobertura fotovoltaica con autoconsumo	30%
Cobertura con generación distribuida	70%

Es por tanto fundamental analizar los horarios de usos, su estacionalidad y el perfil de consumo de cada edificio en particular. A modo de ejemplo, En la **Ilustración 4-6** se muestran dos curvas de cargas durante una semana en un edifico *Administrativo* en el que se identifica claramente el sábado y el domingo, días sin ocupación.

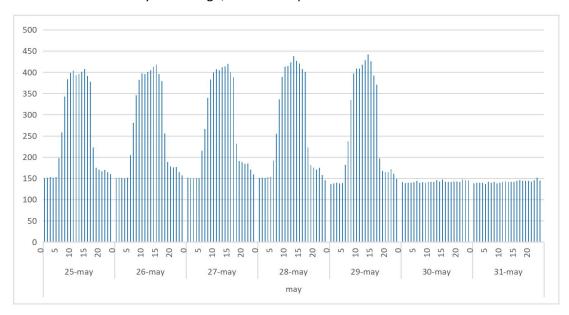


Ilustración 4-6. Curva de carga semanal en un edificio Administrativo.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

En la **Ilustración 4-7**, se muestra la semana de un edificio *Deportivo*, con apertura durante toda la semana, en la que se puede observar la amplitud del horario de las instalaciones deportivas, con un aumento del consumo a la caída del sol.

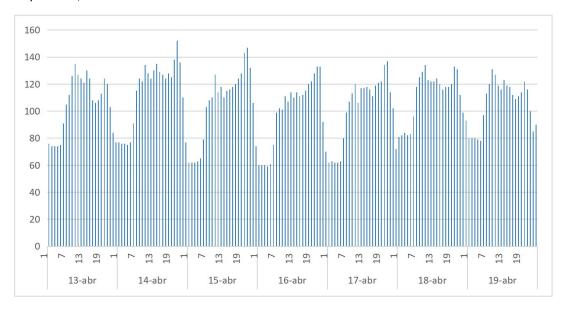


Ilustración 4-7. Curva de carga semanal en un edificio Deportivo.

En el primer caso, en una instalación que se dimensionase para no verter a la red, los consumos de los fines de semana serian el factor limitante, que muy probablemente se verían reducidos con mejoras de eficiencia. En el segundo, no existe ese factor limitante y sería más fácil acoplar la curva de producción con la de carga.

Por tanto, para analizar el potencial fotovoltaico de autoconsumo, se tendrán en cuenta tanto los rangos de consumo de energía final anual como las perspectivas de ahorros y el perfil de consumo.

Ante la imposibilidad de estudiar los perfiles específicos de cada edificio, se ha utilizado el perfil de consumo anual que proporciona Red Eléctrica Española para la Tarifa 3.0A/3.1A 2017 y se ha enfrentado a una curva de producción de un edificio tipo con una productividad de 1.400 kWh/kWp.

Autoconsumo instantáneo

Uno de los criterios posibles a la hora de diseñar los sistemas fotovoltaicos de autoconsumo es imponer que solamente exista un consumo instantáneo de la energía auto producida, sin excedentes (máximo 5%) y sin almacenamiento. En tal caso, en la mayor parte de las instalaciones, solo sería posible alcanzar una cobertura solar aproximadamente del 30%-40% del consumo, con una reducción importante del potencial fotovoltaico necesario.

Estos valores han sido obtenidos a partir de perfiles de consumo y producción tipo. En cada caso particular es fundamental evaluar los perfiles de consumo y de generación específicos para cada edificio o instalación.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Sin tomar otras medidas como la gestión activa de la demanda, la optimización del diseño de la instalación fotovoltaica al perfil de consumo específico del edificio o el uso de los sistemas de almacenamiento, etc., es muy difícil que se pueda diseñar una instalación sin que se produzca intercambio con la red y la cobertura solar supere los valores aquí expuestos.

Tabla 4-12. Evaluación de instalaciones con excedente.

Excedente	Cobertura solar	Escenario 2030 reducido
0-5%	30%-40%	22-30 MW

Estos datos se han calculado sobre una curva anual sin grandes variaciones (fines de semana, festivos o vacaciones) por lo que en algunas de las tipologías como *Educativo*, la cobertura solar y la reducción del potencial fotovoltaico disminuirán considerablemente, mientras que en otros casos será posible alcanzar hasta el 50% de cobertura.

Limitación de la normativa actual

El RD 900/2015 de autoconsumo limita la potencia de autoconsumo instalable a la potencia máxima contratada en ese mismo edificio. Se trata, por tanto, de una cuestión normativa y no técnica y se espera que las políticas europeas, enfocadas a eliminar barreras al autoconsumo, eliminen esta.

Esta limitación afecta en dos vertientes: al realizar actuaciones de eficiencia energética e implantar instalaciones de autoconsumo, la potencia necesaria para cubrir las necesidades energéticas disminuye, por lo que siempre se tiende a optimizar dicha potencia para reducir costes, algo que ayuda a acelerar el retorno de la inversión, y la segunda es que dificulta poder alcanzar el 100% de cobertura solar debido a que para cubrir la demanda es necesario sobredimensionar la potencia instalada sobre los picos de consumo existente.

De los datos facilitados por el Ayuntamiento, se han contabilizado, aproximadamente, **67 MW** de potencia máxima contratada entre los 900 edificios con un mayor consumo (95% del consumo total), lo que podría suponer reducir los 75 MW estimados, en más de un 10%. Sin embargo, la electrificación de la demanda y la incorporación de sistemas de carga de vehículos eléctricos en los edificios deben modificar al alza esta potencia eléctrica instalada, compensando la reducción de la misma por la puesta en marcha del Escenario Eficiente 2030.

Ajuste de las curvas de demanda y producción

Con objeto de maximizar el grado de autosuficiencia energética, es necesario ajustar ambas curvas buscando su convergencia, lo que puede realizarse de diferentes formas:

Optimizando el diseño de la instalación, de tal forma que la producción se ajuste lo máximo a la demanda. Se trataría de combinar en la instalación sistemas optimizados para la demanda de invierno y verano y de los picos de consumo diario, en función de las necesidades específicas del edificio mediante la variación de la inclinación de los paneles (a mayor inclinación desde el óptimo se favorece la producción de invierno y a menos la de verano, incluyendo obviamente un pequeño coeficiente de menor producción).



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Implementando sistemas de gestión de la demanda que trasladen los consumos a los momentos de mayor producción y desconectando cargas en los momentos de menor producción. La gestión activa de la demanda es el eje en el que se basará en el futuro el modelo energético, no solo porque las fuentes de energía serán menos gestionables en origen sino porque es posible, sobre todo en demandas como la de climatización o la del vehículo eléctrico, desplazando temporalmente la conexión de los equipos sin alterar el óptimo de funcionamiento o de confort.

Almacenamiento

Otro método para gestionar la producción frente a la demanda es el uso de sistemas de almacenamiento, aunque, que gran parte de los excedentes se produzcan en los meses de verano, dificulta su aprovechamiento al 100%, en aquellas tipologías en las que se producen un descenso de la ocupación de las instalaciones en los periodos estivales.

En el caso particular analizado (perfil de demanda REE 3.0A/3.1 2017), dimensionando la instalación con una cobertura fotovoltaica del 100%, los excedentes alcanzarían más del 55%. Con perfiles reales de otras tipologías esto podría variar disminuyendo los excedentes, principalmente en el caso de *Deportivo*, y en otros, como Educativo, con largos periodos sin ocupación, aumentándolos.

El uso de un perfil que representa un comportamiento estadístico y no real de cada caso obliga a tomar los números que se exponen como indicadores de un comportamiento probable. Al igual que se adelantaba anteriormente, a la hora de dimensionar la instalación fotovoltaica y, sobre todo, de almacenamiento es fundamental la evaluación del perfil de consumo real y las perspectivas de cambio.

En la **Ilustración 4-8** y en la **Ilustración 4-9** se muestran los perfiles de consumo y generación de 10 días del mes de enero y 10 días del mes de julio. Como puede observarse, en enero existe espacio para trasladar la generación con ayuda del almacenamiento hacia los consumos que se producen cuando no existe generación (nocturnos o días con baja generación). Sin embargo, en julio, la buena climatología y los altos niveles de radiación continuados en el tiempo generan una sobre producción que los propios consumos no pueden asumir.

Si se dimensionara el almacenamiento según el promedio anual de los excedentes diarios, se conseguiría recuperar para el autoconsumo sin vertido a la red el 40% de la producción, elevando la cobertura de autoconsumo hasta el 85%.

Duplicar el almacenamiento solo aumentaría la cobertura de autoconsumo en un 2% a costa de tener sistemas de almacenamiento infrautilizados, ya que solo se utilizaría al 100% en menos del 10% de los días del año.

Existen otros modelos de gestión mediante almacenamiento que, en lugar de buscar la cobertura de autoconsumo máxima, tienen el objetivo de cubrir parte de los picos de consumo que se dan, permitiendo reducir la potencia contratada. En este caso, es necesario identificar con claridad los periodos en los que ocurren esos picos de consumo y mantener el almacenamiento necesario para que cuando estos ocurran el sistema cubra parte del consumo necesario.



El Ayuntamiento de Madrid y la Autosuficiencia Energética	18/12/2017
Hoia de Ruta Madrid 2030	

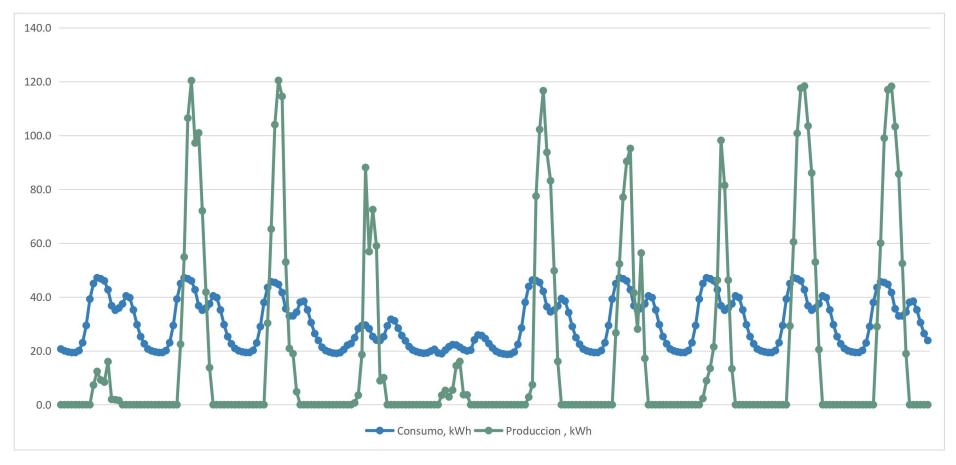


Ilustración 4-8. Perfil de consumo y generación en enero.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

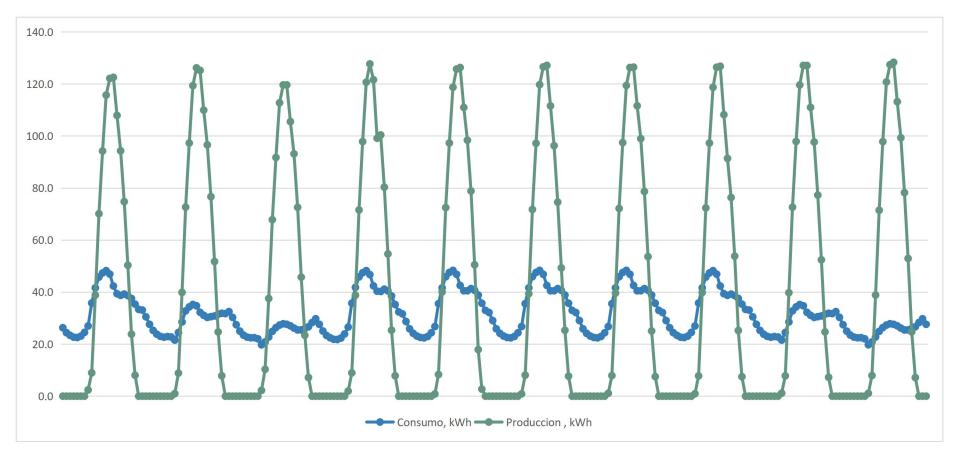


Ilustración 4-9. Perfil de consumo y generación en julio.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

En cuanto al coste económico, hoy día el almacenamiento, no es rentable si se compara con la utilización de la red, a pesar incluso del impuesto al sol que existe en nuestro ordenamiento jurídico, pero en un futuro la proyección de costes supondrá que el almacenamiento de corto desplazamiento será no solo rentable sino aconsejable.

Intercambio de excedentes con la red

La forma más sencilla de gestionar los excedentes, sin atender a las limitaciones que impone la actual normativa, ni a las necesidades técnicas de los sistemas de almacenamiento, es mediante el intercambio con la red.

En la situación actual, en el marco del RD900/2015 y en el caso del Ayuntamiento de Madrid, que está planificando un amplio parque fotovoltaico, se recomienda que estas instalaciones se inscriban según el Tipo 2, para comprar a la red la energía necesaria para cubrir la demanda que no cubre el autoconsumo e inyectar el excedente para ser vendido en el mercado eléctrico. Con la estructura existente, sin embargo, esto supone que el kWh inyectado se vende más barato que lo que cuesta el kWh comprado a la red y, por tanto, es necesario minimizar los excedentes inyectados a la red para mejorar los retornos económicos de la instalación.

Aunque la normativa actual no facilita el aprovechamiento máximo de los sistemas de autoconsumo, la tendencia europea terminará imponiéndose. Por este motivo, el planteamiento para la definición de un Escenario de Autosuficiencia a 2030, mantiene maximizar la cobertura fotovoltaica para que, a lo largo de los próximos años, mediante los diseños de las instalaciones, mediante la gestión activa de la demanda y el almacenamiento, y los modelos de gestión con intercambio con la red, el 100% de la cobertura fotovoltaica acabará convirtiéndose en el 100% de cobertura con autoconsumo, bien por edificio o instalación, o en el cómputo global de los consumos energéticos municipales agregados.



El Ayuntamiento de Madrid y la Autosuficiencia Energética	18/12/2017
Hoja do Ruta Madrid 2020	

Hoja de Ruta Madrid 2030

5. Análisis organizativo

No es posible abordar los exigentes retos que se proponen en el presento documento sin evaluar, analizar y proponer cambios en la organización y funcionamiento interno de una entidad tan amplia como el Ayuntamiento de Madrid. Estos cambios tienen que ver con diferentes aspectos, desde lo más evidente, la mejora de las herramientas de información, monitorización y análisis, hasta lo más estratégico, reflexionar sobre cuáles pueden ser los diferentes roles del Ayuntamiento respecto a la energía.

En principio las competencias que podrían relacionarse con las diferentes actuaciones de esta Hoja de Ruta corresponden a Áreas y Direcciones Generales que se presentan en la *Tabla 5-1*.

Tabla 5-1 Actores municipales implicados en la gestión o toma de decisiones en el ámbito energético.

Área de Gobierno de Medio Ambiente y	
Movilidad	
Dirección General de Sostenibilidad y Control	
Ambiental del Área de Gobierno de Medio	Promover, planificar, y gestionar actuaciones encaminadas a la difusión de la información
Ambiente y Movilidad	y sensibilización ambiental
	Impulsar medidas para promover el uso racional de la energía y la eficiencia energética, en particular, las contempladas en el Acuerdo de adopción de medidas para la optimización energética en el Ayuntamiento de Madrid y sus Organismos Autónomos.
Área de Gobierno de Economía y Hacienda	
Area de Gobierno de Economia y nacienda	Costionar los suministros do cas allostricidad agua combustibles ats correspondientes
	Gestionar los suministros de gas, electricidad, agua, combustibles, etc., correspondientes a edificios o dependencias municipales así como efectuar el seguimiento y control de sus
Dirección General de Contratación y Servicios,	consumos formulando las propuestas de medidas oportunas para obtener la mayor
del Área de Gobierno de Economía y Hacienda	eficiencia energética y ahorro en el gasto.
	Determinar los criterios aplicables al mantenimiento y la optimización energética de los
Dirección General de Patrimonio	inmuebles municipales.
	Impulso de planes territoriales; la ejecución de las políticas municipales en los distritos;
Área de Gobierno de Coordinación Territorial y	descentralizaciones municipales; plenos y foros locales de los distritos y relaciones con las
Cooperación Público-Social	organizaciones sociales.
	Promover la participación ciudadana; voluntariado; innovación social y digital;
	transparencia; seguimiento y evaluación del plan estratégico; atención al ciudadano;
Área de Gobierno de Participación Ciudadana,	administración electrónica, protección de datos personales; sugerencias y reclamaciones
Transparencia y Gobierno Abierto:	ciudadanas e intranet municipal.
Portavoz, Coordinación de la Junta de Gobierno	Portavoz de la Junta de Gobierno; relaciones con el Pleno; dirección de la oficina del secretario de la Junta de Gobierno, y la secretaría de la comisión preparatoria y medios de
y Relaciones con el Pleno	comunicación.
y Heradiones con erriens	Planeamiento; gestión urbanística; control de la edificación; licencias de actividades;
	planificación urbanística y de la movilidad, transporte público; proyectos urbanos
	estratégicos y de regeneración urbana; reparación y conservación de los espacios públicos
Área de Gobierno de Desarrollo Urbano	y equipamientos urbanos; señalización, alumbrado y galerías de servicio y obras de
Sostenible:	construcción de infraestructuras urbanas.
Área de Cultura y Deportes	
	Gestionar las operaciones de mantenimiento, control e inversiones necesarias para la
	prestación de servicios energéticos que permitan optimizar el ahorro y la eficiencia
	energética de los inmuebles adscritos al Área de Gobierno. Desarrollar actuaciones para la
	renovación, restauración y rehabilitación, así como las de nueva planta, de las
Dirección General de Intervención en el Paisaje	infraestructuras adscritas al Área de Gobierno de Cultura y Deportes y para realizar las
Urbano y el Patrimonio Cultural	obras de nueva planta de infraestructuras culturales.

Una completa descarbonización de la ciudad conllevará responsabilidades, funciones, instituciones y herramientas nuevas en el Ayuntamiento. Por ello, los cambios organizativos a



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

impulsar en el seno del Ayuntamiento para dar respuesta a esta Hoja de Ruta y la implementación de sus escenarios deberían también sentar las bases para unas funciones, responsabilidades y posibilidades crecientes.

La actual estructura organizativa y competencial municipal precisa de actuaciones y órganos de coordinación con el fin de acometer el desarrollo de políticas municipales de eficiencia energética y de impulso de las energías renovables.

Sin embargo, la coordinación resulta compleja porque el Ayuntamiento de Madrid tiene una estructura de toma de decisiones y de responsabilidades muy atomizada, por la necesaria participación de las diferentes Áreas de Gobierno y de los Distritos que, en ocasiones, puede dificultar el seguimiento y la gestión de las actuaciones realizadas para que cumplan su cometido y se desarrollen con éxito a lo largo del tiempo.

El primer desafío al que se enfrenta el Ayuntamiento para mejorar sus resultados energéticos es la falta de un sistema de gestión de la información y documentación centralizado que permita conocer, en tiempo real, los diferentes parámetros que entran en juego cuando se ha de gestionar la variable energética municipal.

Aunque en la actualidad el Ayuntamiento ya está trabajando en la mejora de las herramientas de información tales como MEGA, MEGA+, o sistemas de monitorización energética, al iniciar el presente proyecto se encontraron algunas dificultades para identificar, de forma clara y concisa, el consumo, las cargas y otras características energéticas del total del parque inmobiliario municipal y clarificar y realizar el seguimiento de las diferentes actuaciones energéticas sobre los diferentes edificios.

- Aunque ya existe un sistema centralizado de información que permita conocer los consumos de los edificios municipales y algunas variables y parámetros energéticos. Aun no es posible determinar los indicadores energéticos necesarios para evaluar el comportamiento de los diferentes edificios e instalaciones, ni las medidas de mejora en eficiencia. En este sentido el compromiso del Plan A sobre la creación de una plataforma abierta de consumos en edificios municipales y la inclusión del 80% de los consumos para 2020 es un paso en esta dirección.
- No existe un plan coordinado de actuación sobre la autosuficiencia energética del Ayuntamiento. Se necesitan objetivos concretos a corto, medio y largo plazo, asumidos por todos, por lo que el presente documento pretende ser un punto de partida en este sentido.
- No están claras las responsabilidades existentes cuando ha de gestionarse la variable energética. Es necesario, por tanto, identificar las responsabilidades, unificarlas para mejorar la coordinación funcional y disponer de más recursos humanos y técnicos que podrían, por ejemplo, proporcionarse desde la aprobada Comisión Municipal de Eficiencia Energética y Energías Renovables del Plan A o desde una entidad específica. Para gestionar el futuro energético municipal es necesario, por tanto, que se unifiquen los compromisos y objetivos en el ámbito energético y que sean asumidos e interiorizados por el conjunto de actores que participan en el día a día municipal.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

6. Retos y oportunidades de mejora

Conscientes de la urgencia de la necesidad de avanzar en la transición energética hacia la descarbonización, cada vez más autoridades locales en Europa están ampliando su papel en el tema, dejando de actuar simplemente como autoridades de planificación energética para convertirse en actores operativos y fuerzas impulsoras de la transición energética local.

6.1. Organización y nuevos roles dentro de la gestión energética municipal

La ciudad de Madrid tiene más de 3 millones de habitantes censados y más de 600 km² de extensión. Como no podía ser de otra manera, su Ayuntamiento lo conforma una amplia y compleja estructura organizativa, con 9 áreas de gobierno, 5 organismos autónomos, 8 empresas públicas y 21 juntas de distrito para gestionar y ofrecer, con la mayor calidad posible, los diferentes servicios municipales.

Esta compleja estructura se traduce en un parque inmobiliario de más de un millar y medio de edificios e instalaciones de distinta índole, repartidos por los 21 distritos que forman el municipio. La complejidad del parque inmobiliario de Madrid queda de manifiesto cuando, a parte de los diferentes usos y tipologías de las edificaciones, se analiza la condición de los edificios en función de si el Ayuntamiento es propietario o arrendatario del mismo; si se encuentra en uso por el mismo, cedido o alquilado a terceros; o si los consumos energéticos son contabilizados o no por el propio Ayuntamiento. Además, hay que añadir que hay edificios e instalaciones cuya propiedad o gestión recae sobre organismos autónomos o empresas públicas como la EMT, la Agencia Tributaria de Madrid, etc.

Además, existen diferentes papeles de los municipios respecto a la energía: el ayuntamiento como consumidor de energía, el ayuntamiento como productor y proveedor de energía, el ayuntamiento como regulador e inversor en el sector energético local y el ayuntamiento como motivador para la generación y el consumo de energía más eficiente y para la protección del medio ambiente.

La electricidad y la energía deben ser entendidas como un bien de primera necesidad, es necesaria una reflexión del Ayuntamiento como proveedor de este servicio público. Un ayuntamiento comprometido con la universalización de un servicio accesible, asequible y sostenible y en cuyo diseño participe de forma activa la ciudadanía debe plantearse cuál podría ser su rol o roles para cumplir mejor estos fines.

Actualmente el Ayuntamiento de Madrid cuenta con algunas instalaciones de energías renovables en su parque inmobiliario, además de otras fuentes de generación asociadas a otros organismos y empresas públicas (RSU, EDARs). Como resultado de las actuaciones propuestas en esta Hoja de Ruta y otros planes existentes supondrá un fuerte incremento del papel de del Ayuntamiento como productor.

La figura energética que debería desempeñar el Ayuntamiento de Madrid es la de consumidor y productor de energía, pero con una idea integral, que le permita, en el futuro, gestionar la energía como agente único englobando su función como autoconsumidor de la energía generada en el mismo punto de consumo, productor de energías renovables en plantas



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

conectadas a la red y de los excedentes de autoconsumo y consumidor de energía a través de las redes de distribución. Además, una vez alcanzado el objetivo de autosuficiencia en el ámbito de esta Hoja de Ruta, centrado en el parque inmobiliario municipal; se ha de plantear la posibilidad de avanzar aún más en la descarbonización de la ciudad, cubriendo otros servicios o empresas municipales con energías renovables propias (por ejemplo, el transporte público, iluminación, etc.) y, garantizando, además, con sus propios recursos, el acceso de la población a un bien básico como la energía.

Ante esta situación el Ayuntamiento puede optar por:

- Adoptar una estrategia simplificada. Como consumidor, el Ayuntamiento compra energía directamente a una empresa comercializadora. En el caso de productor, a la hora de vender la energía excedente a la red, el Ayuntamiento debe tener una representación en el mercado, que puede correr a cargo de un representante propio o mediante una empresa comercializadora asociada.
- Tener un papel más activo, estableciendo su propia estructura para actuar en el mercado eléctrico como un agente más, convirtiendo la energía en un servicio básico tanto para aprovechar oportunidades como para paliar deficiencias en el acceso a la energía provocadas por la situación económica de colectivos vulnerables.
- Convertirse en un agente activo para que sus habitantes puedan actuar sin trabas como consumidores y productores de energía. Extrapolar la decisión del Ayuntamiento a todos los consumidores requiere la simplificación de procedimientos administrativos de autorización, la existencia de una legislación que aporte ventajas para estas decisiones y, sobre todo, disponer de un sistema de redes de distribución digitalizadas capaces de permitir el intercambio de energía entre iguales. El Ayuntamiento en este punto puede actuar como impulsor de este cambio o como agente, haciendo lo que otros municipios en Europa han llevado a cabo y que es la remunicipalización de servicios como sería la distribución de electricidad y la gestión del big data que la generación distribuida exige.

Llegado el momento en que el Ayuntamiento disponga de producción suficiente (plantas de conexión a la red, excedentes de autoconsumo, etc.) con la estructura adecuada, puede gestionar su producción y consumos de tal forma que consuma su propia energía, sin importar en qué punto se genere, y facilitar su planificación energética.

El Ayuntamiento deberá optar por externalizar su gestión de producción o generar las estructuras y herramientas necesarias para hacerlo. Para ello será necesario disponer de una estructura operativa y societaria acorde con la legislación y de herramientas para predecir producciones a corto y medio plazo y cumplir con las exigencias que marque el operador del mercado.

De esta forma, por una parte, reducirá costes de comercialización principalmente y, por otra, será parte activa, al igual que sucede con las instalaciones de autoconsumo.

Madrid tiene la oportunidad de, al menos, descarbonizar los consumos energéticos municipales mediante la generación en el mismo punto de consumo o en sus cercanías.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Para que esto sea posible es necesario habilitar los cauces precisos para que se pueda compatibilizar la estructura competencial existente y la centralización y unificación de criterios en la gestión energética municipal con las labores a llevar a cabo en cada centro de consumo, en la O&M de instalaciones y en el comportamiento energético de los propios usuarios. Por tanto, es necesario:

El establecimiento de una estructura que centralice los trabajos relacionados con la transición energética de la ciudad hacia emisiones cero. Aunque se establezca una responsabilidad única y específica de gestión de todos los ámbitos energéticos, el trabajo también se debe apoyar en la existencia de comités o grupos de trabajo transversales, como la Comisión Municipal de Eficiencia Energética y Energías Renovables, con la participación de todas las áreas y de la propia Alcaldía, en los que se establezcan los compromisos y objetivos a cumplir y se definan los procedimientos para llevarlos a cabo dentro de las competencias de cada área que serán recogidas en la Política interna y en la planificación energética municipal.

En cualquier caso, los recursos humanos y técnicos internos del Ayuntamiento de Madrid en la actualidad para implementar y evaluar esta Hoja de Ruta no parecen suficientes, mucho menos para asumir una complejidad creciente de funciones. La estructura que asuma la responsabilidad central en propuestas y monitoreo tendría que ser reforzada o generarse una entidad específica en la forma que se contemple más oportuna.

El fortalecimiento de las capacidades de los departamentos implicados. El cambio organizativo tendrá que llevar aparejada la internalización y el desarrollo de habilidades económicas y técnicas municipales en temas energéticos. Se trata de tomar el control de las distintas áreas de gestión de la energía, para lo que los departamentos necesitarán desarrollar estrategias de planificación e implementar nuevos instrumentos políticos, por ejemplo, los datos necesarios para un mejor conocimiento del panorama energético municipal y los parámetros económicos (costes del proyecto) indispensables para la negociación de la contratación pública. La formación tendría que extenderse también a los empleados municipales. El Ayuntamiento debe incluir en su plan de formación municipal la adquisición de hábitos de consumo energético responsable con el medio ambiente en las instalaciones municipales, a través de la intranet. Esta formación tendría que tener continuidad.

La iniciativa llevada a cabo de creación de un centro de control único de todas las instalaciones de generación de energía en el Ayuntamiento es una primera medida que debe ir asumiendo la centralización de todos los datos energéticos y la elaboración de informes de control que sirvan para asignar recursos, comprobar el cumplimiento de objetivos y coordinar a los distintos equipos tanto de Áreas de Gobierno como de los diferentes distritos.

Para avanzar en la planificación energética municipal hay que identificar cada uno de los procesos y servicios que se prestan en el día a día municipal y evaluar en profundidad su variable energética, de forma que se puedan establecer los protocolos necesarios para que se



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

contabilicen, evalúen y se propongan las mejoras necesarias para que se desarrollen de la forma más sostenible posible.

Madrid debe establecer un compromiso integral con la sostenibilidad energética que debe nacer como un mandato de la propia Alcaldía, en el que se establezcan los compromisos y objetivos a cumplir y se definan los procedimientos para llevarlos a cabo dentro de las competencias de cada área que serán recogidos en la **Política interna y en la planificación energética municipal**.

La herramienta fundamental para evaluar y gestionar de forma adecuada la variable energética dentro de una organización como el Ayuntamiento de Madrid es la implementación de un **Sistema de Gestión Energética (SGE)** a nivel municipal.

La implantación de Sistemas de Gestión Energética en los edificios e instalaciones, y que a su vez formen parte de un sistema de gestión más amplio a nivel municipal, es fundamental para poder llegar al objetivo de autosuficiencia energética. Dicho sistema se basa en el principio "medir para identificar e identificar para mejorar". Es en el SGE en el que se han de definir la planificación y los objetivos a cumplir, tanto particulares (por edificio) como globales (todo el municipio), así como los procedimientos para llevarlos a cabo y los indicadores para monitorizar el cumplimiento de los mismos.

En el año 2016, el Ayuntamiento de Madrid ha iniciado la implantación de un sistema de gestión energética (según norma ISO 50.001) en bibliotecas. En la actualidad siete están certificadas y cinco en proceso, estando en todas ellas monitorizados los consumos. El compromiso es llegar al 90% de la red de bibliotecas. Además, en la actualidad, se está llevando a cabo la implementación, por fases, de un sistema de monitorización energética, que pretende alcanzar a los 400 edificios más consumidores, que representan más del 80% del consumo total municipal. Este sistema de monitorización permite conocer los consumos instantáneos de electricidad y gas natural de todo el edificio y, en algunos casos, monitorizando a nivel "sub-metering" consumos por zonas y sistemas dentro del mismo edificio.

La implantación de sistemas de gestión finalistas en los distintos edificios debe llevar consigo el establecimiento de un sistema central que recoja todos los datos de cada edificio y establezca criterios homogéneos de actuación. Esta actuación ya se ha desarrollado de forma centralizada para las instalaciones fotovoltaicas que están actualmente en funcionamiento. En esta aplicación se deberán recoger todas las instalaciones que se irán llevando a cabo en los próximos años.

De forma similar al manual de un sistema de gestión ambiental o de calidad es necesario redactar un manual del **Sistema de Gestión Energética** (SGE) municipal, en el que se unifiquen objetivos y criterios de los diferentes planes, acuerdos, hojas de rutas y normativa existente, y tenerlo en cuenta en el ámbito interno del propio Ayuntamiento.

Es necesario igualmente, identificar actores (áreas, encargados, etc.) implicados en la toma de decisiones, en la gestión y en el uso de los edificios municipales, definir responsabilidades y concienciar al conjunto de actores implicados (trabajadores y usuarios).



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Es fundamental identificar quien debe asumir la responsabilidad de gestionar la variable energética y centralizar las actuaciones. Esta responsabilidad puede recaer en un departamento, un área de gobierno, un grupo de trabajo u otro tipo de entidad que disponga de medios y de estructura suficiente para acometer las actuaciones necesarias con eficiencia.

A su vez, ha de ser el interlocutor con todos los actores implicados y el representante de la maximiza autoridad municipal en cuestiones energéticas.

Durante el presente proyecto se ha realizado una caracterización energética parcial, que puede ser el punto de partida de una revisión energética municipal global que abarque no solo el parque inmobiliario municipal, sino el conjunto de actuaciones y procedimientos que se llevan a cabo en el día a día municipal.

La implantación de un sistema de gestión energética permite identificar y evaluar las demandas y los consumos con el fin de conocer el cómo, cuándo, dónde y por qué tienen lugar.

De esta revisión se ha de determinar una línea base a partir de la cual definir objetivos globales en el ámbito municipal y comprobar el grado de cumplimiento de los mismos. Como herramienta para monitorizar el grado de cumplimiento de los objetivos es necesario definir indicadores de desempeño de forma similar a como se ha hecho en este informe.

En este punto se incluirían las actuaciones que se vayan definiendo a lo largo de esta Hoja de Ruta. Además, se definirán nuevas propuestas en todos los ámbitos municipales.

Se ha de definir el control operativo de las diferentes actuaciones, gestionar la documentación e información que se vaya generando y trasladar a los trabajadores y a la sociedad tanto las políticas y medidas que se tomen como la evolución de los resultados.

Verificación de cumplimento

La implementación de un sistema de monitorización y gestión no debe ser un objetivo en sí mismo sino la herramienta para alcanzar y gestionar el logro de los objetivos marcados. Dentro de un SGE el paso más importante es controlar y verificar el cumplimiento de la planificación y política existente. Es necesario medir y evaluar los parámetros e indicadores que se hayan definido para, en el caso de que no se cumplan, saber identificar las alarmas y realizar las acciones preventivas o correctivas necesarias.

Revisión

Es preciso definir cómo, cuándo y quién deberá revisar el cumplimiento de la política energética municipal, pudiéndose establecer una graduación de responsabilidades. Deberá existir un responsable único o área responsable que redacte el informe mensual, trimestral, semestral o anual que sea revisado y validado por el responsable indicado. El informe anual debería revisarlo la máxima autoridad de la organización, mientras que los informes intermedios podrían ser revisados por un responsable cualificado.

La entidad creada al efecto, el grupo de trabajo o comité deberá verificar el cumplimiento de los compromisos y objetivos que se marquen y medir y documentar las desviaciones que pudieran existir, identificando el origen y el motivo.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Desarrollo de herramientas TIC

Las TIC son una herramienta fundamental para la planificación, diseño y gestión del día a día de la variable energética.

El primer desafío al que se enfrenta el Ayuntamiento para mejorar sus resultados energéticos es al de la falta de un sistema de información centralizado que permita conocer en tiempo real los consumos que se producen y permita llevar una mediación de la evolución de los mismos. La generación de este sistema de información es un hecho imprescindible y de la máxima urgencia.

La participación de distintos actores, con diferentes responsabilidades, obliga a que la información que se genera en diferentes puntos sea accesible, de forma ágil, al conjunto de actores implicados, implementando y utilizando las herramientas informáticas necesarias que facilite el acceso de los datos que se vayan generando de la forma más inmediata posible. Entre las herramientas necearías de las que deberá dotarse el Ayuntamiento para gestionar la variable energética se encontrarían las siguientes:

Sistema de gestión documental y de información

Es necesario centralizar toda la información y documentación relacionada con la variable energética para que sea accesible a los diferentes actores. Para ello ha de estar en formato electrónico y con los datos correctamente tabulados para que se facilite su análisis y evaluación. Este sistema debe incluir:

- Inventario de edificios, con sus características constructivas actualizadas (superficie construida y útil, características energéticas de la envolvente, etc.).
- Inventario de equipos y cargas, con sus características técnicas, manuales, garantías y hojas de mantenimiento (sistemas de climatización, iluminación, etc.).
- Inventario de los sistemas de generación existentes (solar térmica, fotovoltaicas, etc.).
- Usos y ocupaciones de edificios e instalaciones.
- Registro de mantenimiento y reformas.

La herramienta ha de facilitar que la información sea accesible en el mismo momento en que esta se genera, automatizando al máximo los procedimientos.

Gran parte del mantenimiento habitual de un edificio está cada vez más ligado a su comportamiento energético (cambio de luminarias, mantenimiento eléctrico, ventanas y envolvente, etc.), por lo que es recomendable que el seguimiento del mantenimiento se incluya dentro del sistema de gestión energética global. Esta situación debe ser compatible con los procesos de externalización de servicios que todos los edificios tienen con distintas compañías y con distintos alcances, algunos de ellos, como es el caso del alumbrado, con la cesión de procesos de inversión para sustitución de equipamiento.

El Ayuntamiento de Madrid debe ir centralizar los servicios contratados de O&M y de gestión energética para poner en marcha planes de mayor calado que permitan que en 2030 Madrid



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

sea una ciudad autosuficiente y de emisiones cero en lo referente a los consumos de energía de carácter municipal.

Sistema de monitorización del consumo energético

Para gestionar la variable energética adecuadamente, es necesario medir y conocer su comportamiento, por lo que es imprescindible la monitorización del consumo energético, monitorización que puede realizarse en diferentes grados de profundidad:

- Facturación energética. Aunque da una imagen aproximada de la situación se pierde gran parte de la información necesaria para identificar comportamientos e ineficiencias.
- Tele medida en contadores inteligentes (perfil de consumo). En edificios pequeños puede ser suficiente si se conocen las cargas y equipos. Es necesario disponer de herramientas que faciliten el acceso al conjunto de contadores y el análisis de la información y la centralización de la misma.

Existen en el mercado numerosas herramientas para gestionar y analizar datos de múltiples contadores y cada vez es más habitual que la propia compañía distribuidora ofrezca estos servicios.

La obligatoriedad de este tipo de equipos ha de extenderse mediante los acuerdos necesarios al resto de instalaciones donde la normativa aún no ha llegado (puntos de conexión de Alta Tensión).

■ *Monitorización de cargas y consumos.* En edificios complejos la monitorización disgregada por cargas y equipos dan una imagen completa de la situación, facilitando la identificación de fallos e ineficiencias y el seguimiento de los indicadores de desempeño energético.

La monitorización de las demandas térmicas de climatización (a través de las bombas de calor y sensores de temperatura), de ACS (incluida la de origen renovable) y de consumos de agua es útil para el correcto análisis del comportamiento energético de edificios e instalaciones.

Es fundamental ir aumentando la penetración de estos sistemas y unificando las herramientas de análisis con el resto de herramientas que aquí se exponen (facturación, tele-medida y monitorización).

El objetivo final ha de alcanzar la monitorización del 100% de los consumos energéticos ligados a la edificación, alumbrado público y cualquier otro servicio municipal.

■ Tele control de cargas y equipos. En paralelo a la monitorización de las cargas y equipos, el telecontrol juega una pieza clave para la consecución de ahorros energéticos, al permitir desconectar cargas inútiles o gestionar el consumo en función de las necesidades que se estimen oportunas (producción de autoconsumo, rebaja de picos de consumo, etc.), avanzando hacia la gestión activa de la demanda de forma efectiva.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

El Ayuntamiento de Madrid ya ha ido avanzando en ese campo con la herramienta de facturación MEGA, que está en proceso de actualización (MEGA+). Además, ya se ha iniciado la monitorización de consumos y tiene identificados los 400 edificios de mayor consumo con el fin de llevar a cabo en ellos la instalación de equipamiento de monitorización energética y realizar un seguimiento de los consumos, en los próximos años, los 400 edificios más consumidores (Plan de calidad del aire y cambio climático). Esta monitorización ha de ir progresivamente elevando la profundización dentro de cada edificio, disgregando consumos por cargas (climatización, iluminación, etc.) y zonas.

Para el aprovechamiento al máximo de estas herramientas se han de cruzar los datos energéticos y económicos con parámetros asociados a los servicios y procesos que se dan en edificios e instalaciones. Junto con la monitorización de consumos y diferentes cargas, se deberá inventariar, documentar y mantener actualizada toda la información relacionada con la demanda y consumo energético de los edificios municipales, incluyendo tanto las constructivas (superficies iluminadas, climatizadas, útiles y construidas) como la de los equipos y sistemas consumidores (potencias, eficiencias, carga, etc.).

Es necesario establecer no solo criterios de gestión homogéneos, sino también un plan operativo que sirva para ordenar el mapa de actuaciones en función de la jerarquización de las necesidades.

Sistema de monitorización de la generación de energía

La monitorización de los sistemas fotovoltaicos o de otras plantas de generación (incluido ACS solar) es una pieza clave tanto para la gestión de la producción, bien sea para autoconsumo en el mismo punto de generación, consumo en otros puntos, o venta a la red, como para la correcta operación y mantenimiento de las plantas e instalaciones. (Ver *Anexo V: Recomendaciones sobre instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo en entornos urbanos*).

En función de la amplitud del parque de plantas de producción y del modelo de gestión de excedentes que se utilice, la complejidad del sistema variará:

- Monitorización a nivel inversor. Válida para plantas de pequeña potencia y diseño sencillo.
- Monitorización de ramas o cajas de conexión. A medida que crece el tamaño de la instalación o que en un mismo emplazamiento existen orientaciones e inclinaciones diferentes, es necesario que la monitorización se realice de forma disgregada.
- Herramientas de análisis y control de rendimiento que permitan realizar un seguimiento instantáneo de las desviaciones, que podrían ser indicadores de un fallo inminente. Con estas herramientas se minimizan las necesidades de mantenimiento preventivo.
- Modelos de predicción a corto y medio plazo. A media que crece el parque de generación, para la correcta gestión y aprovechamiento al máximo de la producción, será necesario conocer y planificar la producción existente de forma que, en caso de necesidad, se adecúe el consumo y, si es necesario, se compre energía externa.



El Ayuntamiento de Madrid y la Autosuficiencia Energética	18/12/2017
Hoja de Ruta Madrid 2030	

En todos los casos, aparte de los parámetros energéticos monitorizados, será necesario al menos monitorizar la radiación global en el plano del generador, la temperatura ambiente en el emplazamiento y la temperatura de célula.

A medida que crezca el parque de instalaciones fotovoltaicas, se ha de evaluar la conveniencia de disponer de una o varias estaciones meteorológicas y radiométricas correctamente auditadas para alimentar los modelos de predicción que faciliten la gestión de la producción. Las estaciones pueden ser propiedad del Ayuntamiento o fruto de acuerdos de colaboración con instituciones radicadas en la ciudad de Madrid, que faciliten el acceso a los datos de los que dispongan (AEMET, CIEMAT, Universidades, etc.).

6.2. Oportunidades de ahorro energético

La eficiencia energética debe ser uno de los pilares sobre los que se base todo modelo energéticamente sostenible. Por tanto, antes de realizar cualquier proyecto de generación de energía, se deben realizar todas las medidas necesarias de ahorro y mejora de la eficiencia energética, con la finalidad de que la demanda energética del edificio sea la mínima necesaria para que cubra las necesidades existentes con las condiciones de confort y ergonomía óptimas. Una vez que el edificio demande energía de forma eficiente y gestionable en el tiempo, su consumo será el mínimo necesario sobre el que se deberá plantear la integración de los sistemas de autoconsumo.

De forma transversal es necesario llevar a cabo la interiorización de la cultura del ahorro en trabajadores y usuarios de los edificios municipales (apagar equipos, apagar luces, uso racional de la climatización y la iluminación, etc.). En este punto y para gestionar las diferentes actuaciones que se desarrollan a continuación es de especial importancia la implementación de un sistema de gestión energética como se desarrolla en el anterior apartado.

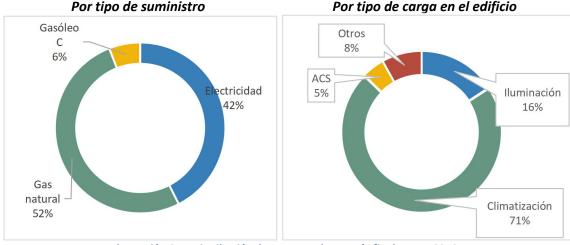


Ilustración 6-1. Distribución de consumo de energía final. Datos 2016.

El primer paso para evaluar la evolución del comportamiento energético de los edificios es determinar la energía útil demandada por el edificio y la necesaria para las actividades que se



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

lleven a cabo. Posteriormente, se analizan los ahorros que se pueden llegar a alcanzar en función de cómo (tipo de suministro y equipos) se cubre dicha demanda.

Si se analiza la situación en función del aporte de cada uno de los suministros energéticos al consumo total de energía final y la distribución entre cada una de las cargas definidas (ver **Ilustración 6-1**) podemos identificar parte de las cargas útiles demandadas.

Mediante la evaluación de la distribución de suministros (ver **Ilustración 6-2**) y de las cargas (ver **Ilustración 6-3**) por tipología y la evaluación previa del estado y características de los edificios y equipos (auditorias) se han identificado las oportunidades de mejora existentes que lleven a la definición de un **Escenario de Eficiencia a 2030.**

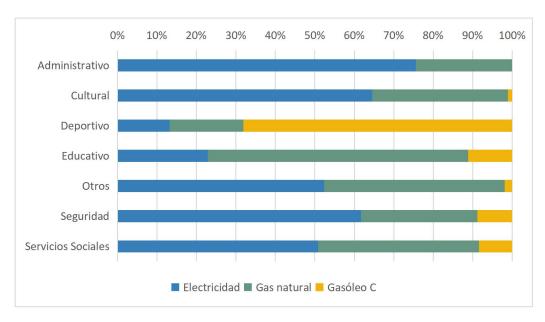


Ilustración 6-2. Contribución de los diferentes suministros por tipologías.

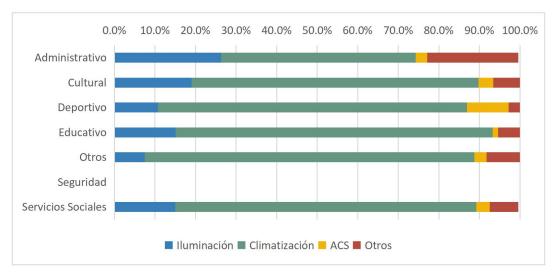


Ilustración 6-3. Distribución del consumo por tipo de cargas y tipología. 2016.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

En el presente estudio se ha observado que los edificios municipales tienen un importante rango de mejora, tanto en la envolvente como en los equipos de climatización e iluminación.

De entre todas las tipologías destacan, en prioridad de actuación, *Deportivo* y *Educativo*, debido a que cuentan con un mayor número de sistemas obsoletos e ineficientes, como son las <u>calderas</u> de gasóleo y de gas natural, así como un gran porcentaje de lámparas de vapor de sodio y de mercurio, destinadas a iluminación exterior y que se caracterizan por su alta potencia. Esto se traduce en que sólo entre estas dos tipologías suman más del 50% del consumo energético de todo el parque inmobiliario municipal, destacando *Deportivo* con el mayor número de edificios "grandes consumidores". Existe, por tanto, un alto margen de mejora energética, tanto en la envolvente como en los sistemas, pudiendo conseguir una gran reducción del consumo energético global actuando solamente en estas dos tipologías de edificios.

La tercera categoría, en términos de consumo, es *Administrativo* que, a pesar de representar el 8% en número de edificios, su consumo se eleva hasta el 15% del consumo energético total, existiendo varios edificios *"grandes consumidores"*. Se trata de una tipología bastante electrificada, pero que aún tiene un 28% de consumo de gas natural y sobre la que se pueden implementar, por su tipología, muchas medidas de ahorro energético que ayuden a los sistemas de autoconsumo a alcanzar la autosuficiencia.

Por último, cabe resaltar *Cultural* y *Servicios Sociales*, con aproximadamente un 11% cada una de consumo sobre el total. En estas categorías se encuentran el resto de calderas de gasóleo C. Las demás tipologías representan, entre todas, alrededor de un 11% sobre el consumo energético total, existiendo también en ellas sistemas antiguos e ineficientes. Por ello se deben realizar también medidas de eficiencia, aunque se prioricen sobre las tipologías e instalaciones más consumidoras.

A continuación, se recoge un listado de las principales medidas de ahorro energético para tener en cuenta en la definición de los objetivos y escenarios de eficiencia de la presente Hoja de Ruta. En el *Anexo III: Actuaciones en eficiencia energética* se hace una descripción más detallada de estas medidas y se incluye un listado de buenas prácticas a incluir en el plan de actuación el Ayuntamiento de Madrid.

Entre las **actuaciones pasivas** se encuentran las intervenciones sobre los usos y hábitos de usuarios y trabajadores y sobre los aspectos constructivos del edificio (aumento del aislamiento térmico en fachadas y cubiertas, reducir las cargas térmicas por insolación, mejora de la iluminación natural, etc.), que reducen la demanda de energía útil.

Las **actuaciones activas**, por su parte, incluirían la mejora de la eficiencia en las instalaciones del propio edificio (siendo recomendable incidir especialmente en climatización e iluminación), que reducen el consumo de energía final para cubrir la demanda solicitada.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Tabla 6-1. Principales medidas de ahorro energético propuestas.

Medidas de ahorro energético (MAEs)	Ámbito	
Sistema de gestión energética	Todas las instalaciones	
Mejora del aislamiento de la fachada	Envolvente	
Sustitución y mejora de cerramiento	Envolvente	
Instalación de láminas de protección solar en ventanas	Envolvente	
Sustitución de calderas por bombas de calor	Climatización	
Aislamiento de tuberías y bombas de impulsión	Climatización	
Instalación de sondas de CO₂	Climatización	
Sustitución de lámparas convencionales por lámparas LED	Iluminación	
Instalación de detectores de presencia y relojes astronómicos Iluminación		
Instalación de regletas anti-stand by o sistema plugwise	Equipos ofimáticos	
Instalación de batería de condensadores	Tarifa	
Optimización de la potencia contratada	Tarifa	
Instalación de perlizadores de agua en grifos y duchas	Agua	
Buenas prácticas de usuarios y trabajadores	Todos	

MAEs en iluminación

La iluminación, tanto interior como exterior, es una de las cargas más importantes de cualquier edificio. Una iluminación obsoleta y un uso innecesario conllevan un gran consumo de energía. El avance de la tecnología LED y la reducción de costes asociada la sitúan como la tecnología que ha de sustituir a las luminarias existentes. Además, es fundamental la implementación de un sistema de gestión de la iluminación y automatismos, como los detectores de presencia que limiten el encendido de las lámparas al tiempo de uso de las estancias e interruptores horarios astronómicos que regulan la iluminación exterior a las horas de orto y ocaso, eliminando las cargas de iluminación ineficientes.

Desde el año 2014, el Ayuntamiento de Madrid está realizando actuaciones de medidas de ahorro y eficiencia energética en la iluminación en edificios e instalaciones municipales.

MAEs en climatización

Como se ha visto, la climatización es el sistema que más consume en todas las tipologías de edificios. Las actuaciones sobre el aspecto constructivo son las más importantes ya que influyen directamente en la disminución de la demanda energética del edificio.

La Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética, establece que a partir de 2014 debe renovarse el 3% anual de la superficie total de los inmuebles ocupados por la Administración Pública (a partir de 2015 se incluyen todos los edificios mayores de 250 m²), hasta que alcancen los estándares de eficiencia lo que, en función de la superficie evaluada, al objeto de dar ejemplo y dinamizar el mercado.



El Ayuntamiento de Madrid y la Autosuficiencia	
Energética	

18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Según los datos obtenidos, y asumiendo que tanto en *Deportivo* como en *Otros* se han contabilizado superficies menores a 250 m², <u>el Ayuntamiento deberá rehabilitar energéticamente, al menos 100.000 m² de superficie al año</u> lo que implicaría cerca del 40% de la superficie actual en 2030. En algunos casos implicaría mejorar la envolvente y, en otros, con mejoras de cerramiento y ventanas podría ser suficiente.

Entre las propuestas de actuación se encuentran, la mejora del aislamiento de la fachada y de la cubierta mediante sistemas de aislamiento térmico, la mejora del cerramiento mediante la sustitución de ventanas y el uso de doble puerta en entradas con mucho tránsito, lo que permitirá reducir pérdidas y por tanto limitar la demanda, con un sistema de climatización más eficiente mediante bombas de calor.

Se debe resaltar que el Ayuntamiento de Madrid aprobó en su Boletín Oficial (BOAM) del 7 de julio de 2016, que todos los edificios nuevos cuya construcción (o rehabilitación) se inicie a partir del 31 de diciembre de 2018, que vayan a estar ocupados y sean de titularidad pública, serán edificios de energía positiva. Dentro de este objetivo el Ayuntamiento de Madrid estableció, en un primer momento, que la demanda energética para climatización no debe exceder de 20 kWh/m² y año. Por otra parte, desde el Área de Patrimonio se está elaborando una guía que específica con mayor claridad las características constructivas que han de tener los edificios de nueva construcción y los rehabilitados. En dicha guía se ha establecido un límite de la demanda de energía primaria de calefacción y refrigeración de 20 kWh/m². Además, impone un límite de 80 kWh/m² para el consumo total de energía primaria del edificio.

Estos valores están alejados de la realidad energética actual de los edificios existentes del Ayuntamiento de Madrid, siendo necesario un especial esfuerzo en la implantación de medidas de eficiencia en los edificios ya construidos.

Tabla 6-2. Parque de calderas de gas natural. (Tarifas 3.3 y 3.4).

Antigüedad	N.º de equipos	Participación demanda
ANTERIOR A 2008	392	75%
2008	15	2%
2009	30	4%
2010	41	4%
2011	15	2%
2012	8	1%
2013	9	2%
2014	11	3%
2015	18	4%
2016	11	4%
2017	3	1%
Total	553	



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Un sistema de climatización eficiente conlleva eliminar las calderas, tanto de gas natural como de gasóleo, ya que utilizan combustibles fósiles para su funcionamiento. En la **Tabla 6-2** se muestra el parque de calderas de gas natural actual. Solo se incluyen aquellas con consumo elevado, descartando el suministro a cocinas y otras de escaso consumo que tienen una menor participación en la demanda total.

Como se puede observar, el parque de calderas de gas natural está anticuado y dado que es necesaria la actualización de los equipos, es razonable que se haga hacia tecnologías más eficientes y menos contaminantes.

Partiendo de los datos de la distribución de energía final para 2016, se puede deducir que más del 95% del suministro de gas natural y el 100% de gasóleo C, va dirigido a cubrir la demanda de climatización y en concreto de calefacción (aunque existen algunas bombas de calor a base de gas natural que incluyen refrigeración).

A partir de esta deducción se puede estimar que el 55% (49% con gas natural y 6% con gasóleo C) del consumo de energía final en forma de gas natural y gasóleo C cubre la demanda de climatización. Probablemente exista un pequeño porcentaje que también participe en cubrir una parte de ACS (otra es cubierta por sistemas eléctricos mediante resistencias o bombas de calor), aunque no influye en el análisis de la energía útil aportada por este porcentaje de energía final, dado que los rendimientos considerados en este ejercicio serían los mismo para calefacción que para ACS.

Se puede estimar de forma muy conservadora un valor del 95% y del 85% de rendimiento medio para las calderas de gas natural y gasóleo C, respectivamente. A partir de estos valores se puede hacer una estimación de la energía útil de calefacción cubierta por ambos suministros (0,95 kWh por cada kWh consumido para gas natural y 0,85 kWh por cada kWh de gasóleo C). Si de nuevo se toman valores conservadores para el rendimiento de una bomba de calor se puede estimar una relación media entre energía final y útil de 1:3.

Un cambio de las calderas de gas natural y gasóleo C para calefacción por bombas de calor supondría un ahorro sobre el consumo de energía final total como mínimo de un 33%. Solo con el cambio de calderas de gasóleo C a bomba de calor se conseguiría un ahorro del 5% de la energía final total anual.

Aunque la climatización es el sistema que más energía consume en todas las tipologías, en *Educativo* y *Deportivo* cobra una especial importancia, debido a las características constructivas y necesidades de estos centros, y a que es dónde se encuentran los sistemas más ineficientes y más consumidores del parque inmobiliario municipal.

MAEs en ACS

El potencial de ahorro exigente en ACS está ligado a las actuaciones llevadas a cabo en climatización, ya que el principal espacio de mejora se encuentra en la utilización de sistemas mixtos de climatización y ACS.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Otro de los espacios de mejora es el aumento de la cobertura solar de ACS. Esta medida, aunque no disminuye la demanda, sí reduce los consumos de suministros energéticos externos existentes.

MAEs en equipos y otros

Los motores existentes en climatizadoras, extractores y equipos elevadores representan un consumo importante debido a su gran potencia. En este caso, existen dos medidas de ahorro energético: la primera es la sustitución de motores antiguos por otros clasificados como IE3 que tienen un alto rendimiento energético y, la segunda, la instalación de variadores de frecuencia que regulan la velocidad y por tanto la potencia demandada en función de las necesidades.

Los **equipos ofimáticos** presentan el problema de que nunca se apagan del todo, permaneciendo encendidos en modo espera y consumiendo energía constantemente, lo que se conoce por *stand-by*. Se debe, por tanto, instalar regletas eliminadoras o un sistema de control que detecte y elimine estos consumos cortando el paso de electricidad en estos equipos.

A la hora de implantar estas medidas se recomienda comenzar por la tipología de *Administrativo*, debido a que suelen ser edificios con varias plantas y de pública concurrencia, por lo que cuentan con un gran número de ascensores y extractores a lo que hay que sumar la gran cantidad de equipos ofimáticos.

Donde sí se ha centrado el Ayuntamiento ha sido en la instalación de baterías de condensadores que eliminan la energía reactiva de la red, lo que repercute en una disminución del recargo de la compañía eléctrica, con el consiguiente ahorro económico. Otra medida económica es la optimización de la potencia contratada, algo que se debe realizar siempre después de haber implementado medidas de eficiencia energética, ya que éstas disminuyen la potencia instalada de los sistemas.

MAEs en sistemas consumidores de agua

El agua es un bien escaso por lo que se debe hacer un uso responsable y sostenible de ella. Existen diversos dispositivos que dosifican y reducen el consumo, con el consiguiente ahorro de agua, como las bombas de circulación y, en el caso de que se trate de agua caliente, con energía térmica. Esta medida se debe implementar sobre todo en *Deportivo* y *Educativo* tipologías en las que más consumo de agua existe debido a las piscinas y duchas existentes.



El Ayuntamiento de Madrid y la Autosuficiencia Energética	18/12/2017
Hoja de Ruta Madrid 2030	

7. Plan de actuación: Hoja de Ruta 2030

A partir de los resultados expuestos a lo largo del presente informe se ha desarrollado el escenario de sostenibilidad Madrid 2030, en el que ha definido el Escenario de Eficiencia (EE-2030) y el de Autosuficiencia (EA-2030) aprovechando el potencial fotovoltaico disponible.

7.1. Escenario de Eficiencia Energética a 2030 EE2030

El escenario planteado se ha basado en la toma en consideración de las siguientes acciones sobre los espacios de mejora que se han identificado en el capítulo anterior. Para ello se ha evaluado la incidencia de dichas actuaciones sobre la situación actual, determinando rangos de ahorros sobre cada una de las cargas. Además, se han tenido en cuenta los efectos cruzados entre las diferentes MAEs a tomar, priorizando aquellas que reducen la demanda de energía útil, para después aplicar las mejoras de eficiencia que reducen el consumo de energía final.

Un ejemplo sería priorizar las medidas pasivas de rehabilitación energética como aislamientos y, una vez reducida la demanda, mejorar la eficiencia de climatización mediante la electrificación de la demanda.

Iluminación:

- Implementación de un sistema de gestión de la iluminación y automatismos que eliminen las cargas de iluminación ineficientes, y por tanto reduzca la demanda.
- Sustitución de las luminarias existentes por luminarias LED más eficientes, teniendo en cuenta que el potencial de ahorro existente depende de la tecnología de las luminarias actuales que se ha de sustituir. En este ejercicio se ha estimado una penetración LED actual del 15%.

En la **Tabla 7-1** se muestran el potencial de ahorro existente en iluminación en función de la medida de actuación y del punto de partida de ahorros.

MAEs en iluminación Rango de ahorro

Sistema de gestión y automatización -10% -25%

Cambio a LED -45% -70%

Tabla 7-1. Rango de ahorro en iluminación.

Climatización:

- Implementación de políticas eficientes de climatización, mediante la determinación de temperaturas de consignas y cumplimiento de la normativa vigente
- Mejora de las envolventes mediante la rehabilitación energética sobre el 50% de la superficie actual hasta 2030, es decir, un ritmo anual aproximado del 4% de la superficie.
- Mejoras de eficiencia en equipos obsoletos (bombas de calor y calefactores eléctricos). Se ha identificado, además, la existencia de calefactores eléctricos y sistemas de aire acondicionado individuales y obsoletos, que deberían ser sustituidos o eliminados por



El Ayuntamiento de Madrid y la Autosuficiencia	1
Energética	

18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

sistemas centralizados más eficientes, así como introducir sistemas y políticas adecuadas para la determinación de temperaturas de consigna en los espacios climatizados. Electrificación al 100% de la demanda de climatización.

Tabla 7-2. Rango de ahorro en climatización.

MAEs en climatización	Rango de ahorro		
Rehabilitación energética	-20% -50%		
Electrificación	-60%	-75%	
Mejoras en eficiencia	-15%	-50%	

El Escenario de Eficiencia a 2030 debe asumir la rehabilitación del 50% de la superficie actual contabilizada, la electrificación al 100% de la demanda de climatización y la actualización de los equipos de climatización eléctricos equivalente al 30% del consumo eléctrico en climatización actual.

ACS:

- Medidas de aislamiento de tuberías y políticas de ahorro en el uso del ACS.
- Electrificación de la demanda de ACS junto a la climatización. En la actualidad el Ayuntamiento de Madrid en su plan de calidad del aire y cambio climático, ya prioriza la electrificación frente al uso del gas natural, pero en esta Hoja de Ruta se considera que para alcanzar el objetivo de emisiones cero deseable, solo es posible mediante la electrificación completa de la demanda.
- Mejoras de eficiencia en equipos obsoletos (calentadores eléctricos).
- ACS Solar.

Tabla 7-3. Rango de ahorros en ACS.

MAEs en ACS	Rango d	le ahorro
ACS solar	-40%	-70%
Electrificación	-60%	-75%
Mejoras en eficiencia	-15%	-50%

Otros y equipos:

- Eliminación de consumos fantasma o "stand-by".
- Mejora de la eficiencia en los diferentes equipos que puedan existir (ofimática, ascensores, etc.).

Tabla 7-4. Rango de ahorros en otros.

MAEs en otros	Rango de ahorro		
Consumo fantasma	-5% -15%		
Mejoras en eficiencia	-10%	-30%	



Hoja de Ruta Madrid 2030

Tras realizar diferentes ejercicios con los potenciales de ahorro existentes que se han expuesto aquí, sobre las diferentes tipologías y cargas, se ha definido el Escenario de Eficiencia a 2030 de reducción del consumo de energía final estimado que se muestra en la Tabla 7-5. Este escenario se considera razonable y debería ser considerado como un mínimo exigible.

Tabla 7- 5. Escenarios de Eficiencia a 2030.

Escenario 2030	Iluminación	Climatización	ACS	Otros	Total
Reducción de consumo (%)	-45%	-55%	-60%	-10%	-50%
Participación de cada carga (%)	17%	64%	4%	15%	

En función de las diferentes distribuciones de carga por tipología se han estimado los ahorros en el escenario 2030 en función de cada categoría. Un análisis detallado por cargas y tipologías pone de manifiesto como las medidas tomadas en climatización tienen mayor repercusión en el ahorro total y, en especial, en las tipologías menos electrificadas como Deportivo, Educativo y Servicios Sociales.

Sobre los consumos contabilizados (331GWh) y los que no han podido ser evaluados (15 GWh), se ha estimado un potencial de ahorro del 50%, de tal forma que en el Escenario de Eficiencia 2030 sobre el total de los consumos contabilizados en 2016, el ahorro se estima en 173 GWh. (ver Tabla 7-6).

Tabla 7-6. Escenario de Eficiencia por tipología y total a 2030.

	Consumo total 2016, GWh		
Administrativo	49	-43%	28
Cultural	38	-50%	19
Deportivo	84	-53%	39
Educativo	85	-51%	42
Otros	21	-51%	11
Seguridad	18	-50%	9
Servicios Sociales	36	-51%	18
TOTAL ANALIZADO	331	-50%	166
NO ANALIZADO	15	-50%	7
TOTAL	346	-50%	173

El Escenario de Eficiencia 2030 aquí propuesto supone una reducción del coste anual del suministro energético del 20% (manteniendo los costes fijos) con respecto a 2016 y una reducción de más del 40% de las emisiones (suponiendo factores de emisión fijos).



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Tabla 7-7 Coste anual de suministros y emisiones 2016-2030.

		Año 2016		Año 2030		
	Consumos (kWh)	Coste (€)	Emisiones (kg CO₂)	Consumos (kWh)	Coste (€)	Emisiones (kg CO₂)
Electricidad	149.697.194	23.339.189	49.549.771	173.000.000	26.988.000	57.263.000
Gas Natural	177.096.899	9.324.535	44.628.419	0	0	0
Gasóleo C	19.530.877	1.027.414	2.148.396	0	0	0
Consumo Total	346.324.970	33.691.138	96.326.586	173.000.000	26.988.000	57.263.000

7.2. Evaluación económica del Escenario de Eficiencia 2030

Se ha realizado un acercamiento a las necesidades económicas que representaría llevar a cabo el Escenario de Eficiencia Madrid 2030. Para ello se han estimado los costes por metro cuadrado en función de las diferentes actuaciones propuestas basándose en los valores que aparecen en el informe "La Rehabilitación de Edificios como Motor de Crecimiento y Empleo" (CEOE) 2014. Estas se han agrupado en dos categorías, las medidas pasivas en climatización que representa la rehabilitación energética y las medidas activas en iluminación y climatización.

En la **Tabla 7-8** se muestran los costes estimados y propuestos para la evaluación económica del Escenario de Eficiencia Madrid 2030. En el caso de la rehabilitación, los costes aquí expuestos son los que están intrínsecamente ligados a cuestiones energéticas, aislamiento, ventanas, etc., y a su instalación. Por la dificultad que entraña el análisis de instalaciones singulares (piscinas), los costes asociados a la rehabilitación de dichas instalaciones podrían estar por encima de los costes aquí estimados, aunque por número de casos no se cree que pueda desvirtuar los costes totales presupuestados.

Las características de cada edificio requerirán actuaciones muy diversas, con costes muy dispares. Sirva como ejemplo que en el documento antes mencionado se estiman unos costes de entre 33 €/m² para medidas pasivas, y 39 €/m² para medidas activas en colegios públicos; mientras que para edificios *Administrativos* los sitúan sobre los 44€/m² y 72 €/m² respectivamente.

Tabla 7-8 Estimación de costes por m2 de las actuaciones de eficiencia energética.

		Coste, €/m²	
		Mínimo Máximo	
Pasivas	Pasivas: Climatización (Rehabilitación)	40	80
	Iluminación	15	30
Activas	Climatización y ACS	30	60
	Total activas	45	90

Según los parámetros utilizados, la inversión necesaria hasta 2030 estaría comprendida en una banda entre 170 y 340 M€, con un desglose temporal anual según se refleja en la **Tabla 7-9** y en la **Ilustración 7-1**.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Tabla 7-9 Planificación presupuestaria anual del Escenario 2030 de Eficiencia Energética.

		Presupuesto anual €-año				esto total
		Escenario Mínimo Máximo			Mínimo	Máximo
Pasivas	Climatización: Rehabilitación	Hasta 2030	5 M€	10 M€	65 M€	130 M€
Activas	Iluminación	Hasta 2025	5 M€	10 M€	40 M€	80 M€
Climatización y ACS		Hasta 2030	5 M€	10 M€	65 M€	130 M€
	TOTAL	-			170 M€	340 M€

El presupuesto anual en cada una de las partidas mencionadas se extendería a lo largo del periodo, 13 años, hasta alcanzar el año 2030, excepto en iluminación, que serian 8 años, ya que se espera alcanzar el Escenario de Eficiencia en iluminación en 2025.

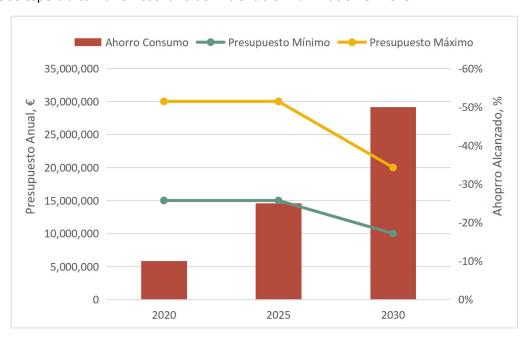


Ilustración 7-1. Presupuesto anual y evolución del Escenario de Eficiencia Madrid 2030.

Para la estimación del presupuesto por años, se ha evaluado la afectación de las medidas propuestas a los metros cuadrados construidos y el tiempo en el que se ha planificado alcanzar los objetivos propuestos.

No se han incluido las actuaciones sobre otros equipos. Por una parte, el coste asociado estaría relacionado con los sistemas de monitorización de cargas y tele control y por la propia renovación de equipos (ofimáticos y otros) y la mejora de eficiencia y rendimiento de los mismos.



El Ayuntamiento de Madrid y la Autosuficiencia Energética	18/12/2017
Hoja de Ruta Madrid 2030	_

7.3. Escenario de Autosuficiencia Energética a 2030. EA-2030

A partir del potencial fotovoltaico evaluado se ha establecido un **Escenario de Autosuficiencia (EA-2030)** para su implementación a lo largo del periodo que comprende esta Hoja de Ruta. Sin embargo, es necesario realizar el diseño específico y de detalle para los diferente edificios e instalaciones, con el fin de identificar la potencia óptima a instalar y determinar la producción que se consumiría en el mismo edificio frente a la potencia de generación distribuida, cuyo excedente sería inyectado a la red y virtualmente consumido en otros edificios ajenos a la instalación fotovoltaica.

Las políticas sobre autoconsumo que se están desarrollando en Europa, favorecen el intercambio con la red de los sistemas de autoconsumo lo que favorece y facilita la gestión de excedentes.

En la **Tabla 7-10** se muestra el **Escenario de Autosuficiencia a 2030,** en el que se aprovecha todo el potencial fotovoltaico sobre edificios existente y evaluado en el **Capítulo 4** del presente documento.

Tabla 7-10. Escenario de Autosuficiencia a 2030 por tipologías y total.

	Potencia Fotovoltaica (MWp)	Producción Fotovoltaica (MWh)	Consumo total EE-2030, GWh	Cobertura Escenario Eficiencia 2030
Administrativo	5,4	7.570	29	26%
Cultural	6,6	9.269	20	46%
Deportivo	16,2	22.779	40	57%
Educativo	33,2	46.636	43	108%
Otros	3	4.042	12	34%
Seguridad	3,4	4.689	10	47%
Servicios Sociales	7,2	10.015	19	53%
TOTAL AUTOCONSUMO	75	105.000	173	61%
Necesidades de Generación fotovoltaica distribuida	49	68.000	173	39%
TOTAL AUTOSUFICIENCIA	124	173.000	173	100%

Como ya se adelantaba a la hora de definir las actuaciones en el EE-2030, y en especial en las cargas de **Climatización**, se observa como **Deportivo** y **Educativo** son las tipologías que mayor potencial fotovoltaico sobre cubiertas tienen y las que mayor demanda tienen en el EE-2030, por lo que es razonable priorizar las actuaciones del EA-2030 sobre ambas tipologías mediante una planificación específica y conjuntamente con las actuaciones definidas en el EE-2030.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

El potencial fotovoltaico estimado no es suficiente para cubrir las necesidades dentro del **Escenario de Eficiencia a 2030**; por lo que se recomienda evaluar las posibilidades existente en otros espacios municipales que pudieran generar los 68 GWh necesarios para cubrir las necesidades totales y alcanzar el objetivo deseable del 100% de autosuficiencia.

En el momento de realizar el presente estudio, no se han podido identificar localizaciones precisas para la instalación del potencial fotovoltaico necesario para complementar el potencial fotovoltaico estimado en las azoteas, por lo que se ha procedido a estimar las superficies y potencia fotovoltaica necesaria en función de las características de diferentes espacios municipales existentes (ver **Tabla 7-11**).

Tabla 7-11 Evaluación de espacios y potencial fotovoltaico necesarios para alcanzar el 100% de autosuficiencia.

	Superficie identificada (m²)	Potencia fotovoltaica (MWp)	Producción fotovoltaica (GWh)
Aparcamientos disuasorios	70.000	11	17
	Potencia fotovoltaica (MWp)	Producción fotovoltaica (GWh)	Superficie necesaria (m²)
Suelo municipal	45	68	540.000
Zonas verdes	45	68	270.000
Otros espacios públicos	49	68	294.000

En un primer lugar se encontrarían los 70.000 m² ya identificados y localizados en forma de cubiertas de las plazas de aparcamiento asociados a la planificación ya existente de *aparcamiento disuasorios* del ayuntamiento de Madrid. En este caso el espacio es limitado, y la potencia estimada de 11 MWp no alcanza las necesidades existente.

Otros espacios susceptible de ser utilizados para la instalaciones de sistemas fotovoltaicos serian, como ya se adelantaba en el *Aprovechamiento de otros espacios municipales*; grandes plantas sobre suelos municipales, estimándose en más de medio millón de metros cuadrados necesarios para ese tipo de plantas, para instalar los 45 MWp fotovoltaicos para cubrir los 68 GWh necesarios.

En el caso de zonas verdes, la instalación de pérgolas, elementos de sombra y otras estructuras que mejoren el aprovechamiento de estos espacios por parte de la ciudadanía, serian aptos para la instalación de sistemas fotovoltaicos sobre estas estructuras. En este caso se estima cerca de trescientos mil metros cuadrados de estas superficies aprovechadas al máximo para alcanzar de nuevo los 45 MWp necesarios.

Por ultimo, en otros espacios públicos se utilizarían estructuras similares a las utilizadas en los espacios verdes, aunque en este caso por las características de los espacios, plazas, vías publicas, espacios abiertos en edificios, etc. Las productividades se estiman inferiores y por



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

tanto el potencial fotovoltaico necesario aumenta ligeramente hasta los 49 MWp, estimados en el Escenario de Autosuficiencia EA-2030.

Estas diferencias de superficie necesaria y potencia fotovoltaica estimadas para cubrir los 68 GWh, existente entre las plantas sobre suelo, instalaciones en zonas verdes y otros espacios públicos es debido a las diferentes características como la ocupación (m²/kWp), y productividad (kWh/kWp), existentes que ya se adelantaban en *Aprovechamiento de otros espacios municipales*.

El Ayuntamiento, a lo largo del periodo de esta Hoja de Ruta, deberá ir identificando las localizaciones precisas con objeto de poder alcanzar el objetivo final del 100% de autosuficiencia.

El cumplimiento del **Escenario de Autosuficiencia EA-2030** reduciría las emisiones restantes hasta alcanzar las emisiones cero y eliminaría los costes de suministros externos, aunque sería necesario evaluar los costes de implementación y operación de ambos escenarios para determinar los ahorros económicos reales.

7.4. Evaluación económica de los escenarios de potencial fotovoltaico Madrid 2030

La evolución de los costes de instalación de los sistemas fotovoltaicos sobre cubierta ha sufrido una importante reducción durante los últimos diez años y, en la actualidad, ya se ha alcanzado la paridad de costes con la red, a pesar de la existencia de trabas y otras cargas normativas. Aun así, el espacio de reducción de costes es amplio, con reducciones en 2030 de hasta la mitad del coste actual.

La evolución de los costes totales de las instalaciones fotovoltaicas está por una parte asociada a la rápida evolución tecnológica y a la reducción de costes de los módulos, que ya se encuentran en el mercado en el rango de los 0,6-0,9 €/Wp (impuestos incluidos), en función de su calidad y tamaños, y de los inversores que, en función del tamaño, se pueden encontrar en el rango de los 0,2-0,4 €/Wp para instalaciones sobre cubiertas.

Estos costes, a su vez, contribuyen con mayor peso al coste total como puede verse en la **Ilustración 7-2**, ya que suponen cerca de las 2/3 partes de la inversión a realizar. Existen, además, otros costes que van asociados al tamaño de la instalación y a la madurez del mercado, como la instalación, la ingeniería, costes administrativos e impuestos.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

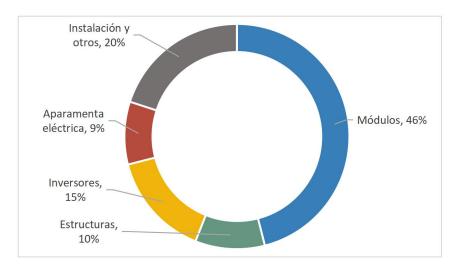


Ilustración 7-2. Estructura del coste de instalación fotovoltaica sin impuestos.

En la **Tabla 7-12** se da una estimación de la composición del coste medio actual para instalaciones sobre tejado de en torno a 10 kW, que se sitúa alrededor de los 2 €/Wp, frente a los 1,5€/Wp de Alemania (impuestos incluidos). Este coste está influenciado por la tipología y las dimensiones de la instalación, la accesibilidad al emplazamiento y los cargos asociados a la legalización de la instalación.

Tabla 7-12 Estructura del coste actual del Wp instalado.

Coste Vatio Pico instalado sobre azotea - €/Wp (impuestos incluidos)			
Módulo	0,90		
Inversor	0,27		
Estructuras 0,34			
Cableado y protecciones	0,14		
Instalación y otros costes 0,35			
TOTAL	2,00		

La evolución de los costes de los sistemas fotovoltaicos con tecnología de silicio cristalino sobre azotea está evolucionando rápidamente a medida que aumenta su penetración en el mercado. En España, y debido a la normativa existente, hay un retraso que provoca que el coste se sitúe aún por encima de países como Alemania.

En la evolución de costes de instalación sobre cubierta que se representa en la **Ilustración 7-3** se ha asumido que durante los primeros años el tamaño medio de las instalaciones disminuirá, lo que aumenta el coste de instalación.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

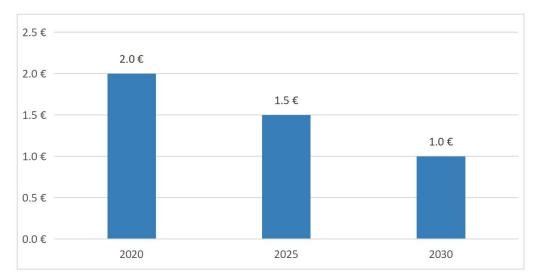


Ilustración 7- 3. Evolución del coste estimado de instalación de <10 kWp sobre azoteas o cubiertas (impuestos incl.).

Por otra parte, los costes asociados a la operación y mantenimiento se encuentran en torno al 1-2% del coste total de la instalación, viéndose fuertemente influenciado por el tamaño del parque fotovoltaico que se gestione.

El objetivo de la Hoja de Ruta sobre la instalación en azoteas de edificios y en fachadas, dentro del parque inmobiliario municipal, se ha establecido, como se ha señalado anteriormente, en 75 MW. En la **Ilustración 7-4** se muestra la evolución hacia el escenario de potencia Madrid 2030 y las partidas presupuestarias anuales necesarias, en función de dos escenarios de costes.

Tabla 7-13 Escenarios de autosuficiencia con autoconsumo en edificios y presupuestos 2030.

	Pote	encia fotovoltaica de a	Presupuestos autoconsumo		
	Azoteas	Adecuación de espacios	Fachadas	Total	Presupuesto anual / Presupuesto EA-2030
2020	7,5	1,8	0,5	9,8	6.5 M€
2025	18,0	3,2	2,0	23,2	7 M€
2030	34,5	5,0	2,5	42,0	8,4 M€
TOTAL	60	10	5	75	96,5 M€

Este presupuesto estimado es necesario evaluarlo junto con los retornos económicos que tienen las instalaciones fotovoltaicas, así como con los beneficios medioambientales y sociales.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

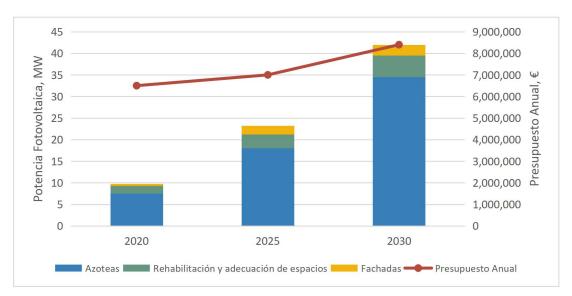


Ilustración 7- 4. Presupuesto anual para instalaciones fotovoltaicas de autoconsumos en edificios municipales.

A la hora de evaluar el aprovechamiento de otros espacios, es necesario distinguir el presupuesto necesario para la instalación de los sistemas fotovoltaicos y de las estructuras de doble uso como pérgolas, aparcamientos, etc.

Para la evaluación económica del presente documento, solo se han contabilizado los costes propios de la instalación fotovoltaica (módulos, inversor, soportes cableado, etc.), sin evaluar los costes asociados a las estructuras en el caso de que esta tenga una doble funcionalidad, entendiendo en que estas estructuras podrían existir sin tener asociado sistemas fotovoltaicos.

En los aparcamientos disuasorios y otros espacios como pérgolas, etc., el coste de instalación se ha estimado igual al de los edificios, mientras que para las grandes plantas sobre suelo se ha estimado un coste de 1 €/Wp, hasta alcanzar una reducción del 30% en 2030, teniendo en cuenta que se estima una reducción del 50% del coste actual para 2050.

En **Tabla 7-14** se ha dado una estimación aproximada del presupuesto necesario, teniendo en cuenta que, en función del tipo de instalación seleccionada, serían necesarios una potencia, superficie y coste determinados.

Tabla 7-14 Escenarios de autosuficiencia en otros espacios y presupuestos 2030.

	Otros Espacios			
	Potencia fotovoltaica MIN (MWp)	Potencia fotovoltaica MAX (MWp)	Presupuesto anual MIN (€)	Presupuesto anual MAX (€)
2020	5	5	1.666.667	3.333.333
2025	15	17	2.550.000	5.100.000
2030	25	27	3.500.000	5.400.000
TOTAL EA-2030	45	49	35.250.000	62.500.000



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

En la **Ilustración 7-5** se muestra de nuevo la evolución del presupuesto anual estimado el aprovechamiento de otros espacios municipales.

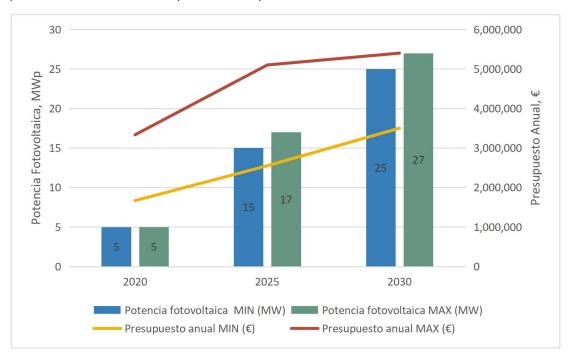


Ilustración 7-5. Presupuesto anual para el Escenario de Autosuficiencia en otros espacios municipales.

Como se detalla seguidamente, el mayor retorno económico de las instalaciones se produce cuando la generación se consume en el mismo punto, reduciendo pérdidas y costes de distribución.

Así, el mayor retorno económico de las instalaciones de autoconsumo se produce cuando existe mayor convergencia entre perfil de generación y perfil de consumo. Como se ha destallado anteriormente, el potencial fotovoltaico se distribuye de manera irregular entre las diferentes tipologías de edificios y, mientras que en algunos casos el 100% de la generación será aprovechada de forma directa por los consumos asociados al edificio, en otros, existirá un excedente que deberá ser gestionado bien con almacenamiento para seguir siendo aprovechado por el propio edificio o bien mediante intercambio con la red.

Es fundamental por tanto que, a la hora de diseñar y planificar las instalaciones asociadas a edificios, se evalúen correctamente los perfiles de consumo y producción. Aunque cada caso deberá analizarse de forma individual, en la mayor parte de las tipologías, el potencial fotovoltaico estimado, con políticas adecuadas de gestión activa de la demanda y un buen diseño y planteamiento de las instalaciones, podrá aprovechar al máximo la generación de los sistemas de autoconsumo y cubrir en torno al 30-40% de sus consumos de forma directa.

De las coberturas fotovoltaicas estimadas, el caso de la tipología *Educativo* sobresale entre las demás. Esta tipología, por número de edificios y tipo de azoteas, es la que dispone de mayor espacio para este tipo de instalaciones, pero su perfil de consumo se caracteriza principalmente por no ser significativo (no se consume ni los fines de semana ni en los meses



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

de verano). Aunque es factible, mediante sistemas de gestión activa de la demanda, sistemas de almacenamiento y diseño adecuado de las instalaciones, maximizar la cobertura de autoconsumo, en este caso la generación en los meses de verano difícilmente podrá ser aprovechada por el propio edificio y deberá gestionarse mediante modelos de intercambio con la red.

Por otra parte, en la tipología *Deportivo*, los horarios de utilización y ocupación de los edificios e instalaciones son más amplios, tanto a diario como durante la semana, ya que se utilizan sábados y domingo e incluso festivos. Estas característicos, junto a sus elevados consumos y espacios disponibles, sitúan esta tipología como la óptima para el aprovechamiento máximo de la generación de instalaciones de autoconsumo.

En el estudio económico realizado se han considerado 3 escenarios de acoplamiento consumo/producción, diferentes:

- Escenario A: de la energía generada el 50% se autoconsume y el 50% se vierte a la red.
- Escenario B: de la energía generada el 75% se autoconsume y el 25% se vierte a la red.
- Escenario C: se autoconsume el 100% de la energía generada. Escenario idóneo en el que se alcanzan rentabilidades de proyecto de hasta el 11% con la normativa restrictiva actual.

Aunque el comportamiento económico de la instalación va a depender en gran medida de sus dimensiones y rendimientos, a partir de la evaluación económica sobre diferentes instalaciones sobre cubierta se puede estimar que el periodo de amortización de una instalación fotovoltaica sobre cubierta rondará entre los 10 y 12 años, con intercambios con la red reducidos, inferiores al 25%, lo que supone alcanzar una TIR de la inversión realizada comprendida entre el 8 y el 10% para un coste de 2 €/Wp (ver Ilustración 7-6). Estos valores dependerán en gran medida de la evolución del precio de la electricidad y de la variación de los costes de peaje, así como de la optimización de la cobertura de autoconsumo.

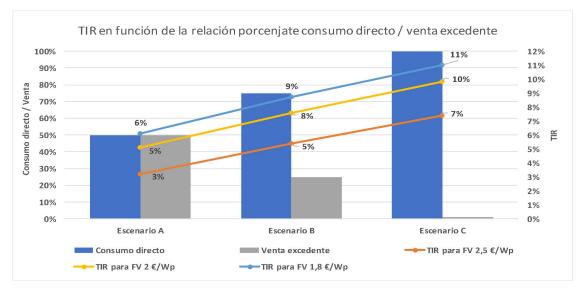


Ilustración 7- 6. TIR en función del precio FV para distintos escenarios consumo-venta de la energía autogenerada.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

La necesidad de implementar sistemas de almacenamiento para maximizar la cobertura de autoconsumo influirá en gran medida sobre los retornos económicos, tal como muestra la **Ilustración 7-7**.

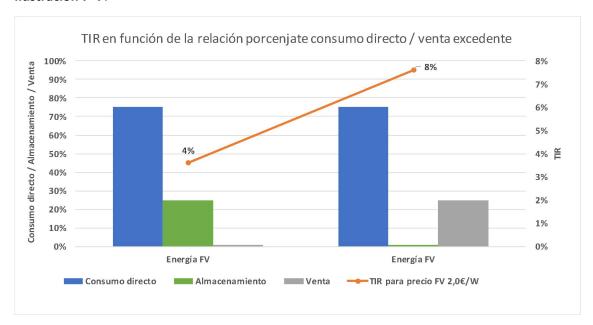


Ilustración 7- 7. Comparativa de la rentabilidad del almacenamiento frente a la venta de la energía autogenerada.

La rentabilidad de las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo varía, como es de esperar, en función del coste de la instalación, de la productividad de la misma y de la cobertura de autoconsumo. Así, cuanta más energía se consuma por el edificio de forma directa mayor será esa rentabilidad.

Adecuar la normativa para el mejor aprovechamiento de los excedentes mediante el intercambio con la red haría aumentar de forma considerable la rentabilidad de los proyectos y facilitaría conseguir la autosuficiencia sobre el conjunto del parque inmobiliario, permitiendo el aprovechamiento de los excedentes por aquellos edificios e instalaciones en los que, por espacio, orientación o sombreamientos, no sea posible la implantación de una instalación de autoconsumo.

En cuanto al almacenamiento de la energía sobrante en sistemas de baterías, está muy penalizado por el RD 900/2015, a lo que se añaden unos costes algo elevados, hoy en día, por lo que se desaconseja esta opción aún a pesar de conseguir una rentabilidad del 4% aproximadamente, pues se trata de la mitad si se compara con el mismo caso sin almacenamiento.

Como conclusión, las inversiones que el Ayuntamiento tendría que realizar, una vez anualizadas los presupuestos mínimos y máximos totales estimados de los escenarios de eficiencia y autosuficiencia EE-2030 y EA-2030; se situarían entre los 23 M€-año de mínimo y los 38 M€-año de máximo. Teniendo en cuenta que los costes anuales de la factura energética de las instalaciones y edificios municipales son actualmente de 33 M€ aproximadamente, muy



Hoja de Ruta Madrid 2030

18/12/2017

cerca de las necesidades de inversión, se demuestra la oportunidad económica que supone el avance en autosuficiencia a largo plazo.

7.5. Escenario global de sostenibilidad energética Madrid 2030

La estrategia de autosuficiencia energética del Ayuntamiento de Madrid ha de apoyarse en tres líneas de trabajo principales:

- La limitación de la demanda necesaria de acuerdo con las necesidades reales.
- La reducción de los consumos mediante la mejora de la eficiencia de los procesos.
- Cubrir el consumo energético mediante el aprovechamiento de los recursos renovables en el mismo punto de consumo y el suministro eléctrico a partir de fuentes de energías renovables, generadas en emplazamientos lo más cercanos posibles al punto de consumo.

Estas tres líneas principales de trabajo se han ido desarrollando dentro de los dos escenarios parciales que conforman el Escenario Global de Sostenibilidad Energética Madrid 2030.

- ✓ Escenario de Eficiencia EE-2030.
- ✓ Escenario de Autosuficiencia EA-2030.

Tal y como se ha reflejado en el presente documento, la implementación de ambos escenarios conllevaría la implementación de las actuaciones que se desarrollan a continuación.:

Sistema de Gestión Energética (SGE) municipal

Dentro de una organización como el Ayuntamiento de Madrid, es necesario que la variable energética se valore en el conjunto de las actuaciones y procedimiento internos. Para ello es necesario establecer una *política interna y una planificación energética municipal (SGE)*.

De forma similar al manual de un sistema de gestión ambiental o de calidad, **es necesario redactar un manual del Sistema de Gestión Energética municipal** en el que se unifiquen objetivos y criterios de los diferentes planes, acuerdos, hojas de rutas y normativas existentes, en definitiva, de la política energética interna del propio ayuntamiento.

La estructura de gestión en materia energética en el Ayuntamiento de Madrid debe tener una estructura con **responsabilidades claras y definidas**, que unifique la toma de decisiones y con capacidad suficiente para asignar y gestionar partidas presupuestarias e iniciativas.

Esta responsabilidad única y la centralización de decisiones y de información requiere identificar actores (áreas, encargados, etc.) implicados en la toma de decisiones en cada una de las Áreas de Gobierno y Distritos para la gestión y el uso de los edificios municipales, con el objetivo de definir responsabilidades y concienciar al conjunto de actores implicados (trabajadores y usuarios).

La caracterización energética realizada durante el presente proyecto, junto con el conjunto de auditorías energéticas que el Ayuntamiento está realizando, han de ser el punto de partida de una revisión energética municipal global que abarque no solo el parque inmobiliario municipal, sino el conjunto de actuaciones y procedimientos que se llevan a cabo en el día a día municipal.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

De esta revisión se ha de determinar una línea base a partir de la cual definir objetivos y comprobar el grado de cumplimiento de los mismos. Para la herramienta de monitorización del grado de cumplimiento de los objetivos es necesario definir indicadores de desempeño de forma similar a lo que se ha hecho en este informe.

Implementación del SGE

En este punto, se incluirían las actuaciones que se vayan definiendo a lo largo de esta Hoja de Ruta. Además, se definirán nuevas propuestas en todos los ámbitos municipales.

Se ha de definir el control operativo de las diferentes actuaciones, gestionar la documentación e información que se vaya generando y comunicar a los trabajadores y a la sociedad de las políticas y medidas tomadas, así como de la evolución de los resultados.

Verificación de cumplimento

La implementación de un sistema de monitorización y gestión no debe ser un objetivo en sí mismo sino la herramienta para alcanzar y gestionar el logro de los objetivos marcados. Dentro de un SGE el paso más importante es controlar y verificar el cumplimiento de la planificación y de la política existente. Es necesario medir y evaluar los parámetros e indicadores que se hayan definido para, en el caso de que no se cumplan, saber identificar las alarmas y realizar las acciones preventivas o correctivas necesarias.

Revisión

Es necesario definir cómo, cuándo y quién deberá revisar el cumplimiento de la política energética municipal, pudiéndose definir una graduación de responsabilidades. Deberá existir un responsable o área responsable que redacte el informe mensual, trimestral, semestral o anual que deberá ser revisado y validado por el responsable indicado. El informe anual podría revisarlo la máxima autoridad de la organización, mientras que los informes intermedios serían revisados por un responsable cualificado.

El Ayuntamiento puede y debe aprovechar que se hayan comenzado a implementar SGE mediante ISO50.001 de forma individual en algunas bibliotecas municipales, para servirse de esa experiencia y trasladarla al conjunto municipal.

En la **Tabla 7-15** se propone un calendario de actuaciones hasta completar la implantación del Sistema de Gestión Energética municipal (SGE) antes de 2025, que permita parcialmente en los primeros años y, de forma global, a partir de 2025, gestionar de forma adecuada la implantación de los objetivos del EE-2030 y del EA-2030.

Algunas de las medidas aquí propuestas se incluyen ya en el Plan de calidad del aire y cambio climático, siendo necesario incidir en la implantación a nivel municipal por encima de actuaciones particulares sobre edificios.

La implementación de este SGE junto a las herramientas TIC que se desarrollan a continuación debieran realizarse de forma prioritaria sobre el resto de actuaciones, o al menos antes de la puesta en práctica de la mayor parte de ellas. Este SGE servirá para una mejor identificación de las necesidades, priorización de las mismas y seguimiento y análisis del cumplimiento de los objetivos.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Tabla 7-15 Planificación del Sistema de Gestión Energética.

Sistema de Gestión Energética municipal	
Política interna y planificación energética municipal (SGE)	2018
Manual SGE	2018
Identificación de actores y responsabilidades	2018
Unificar objetivos y criterios dentro de todo el ámbito municipal	2018
Revisión energética y línea base de todo el ámbito municipal	2018
Definición de indicadores de desempeño energético	2018
Implementación del SGE (gradual)	100% en 2025
Sistema de gestión documental	2019
Control operativo	2018
Propuestas de actuación	2018
Verificación de cumplimento	Anual
Documentar mediciones de parámetros e indicadores	Anual
Documentar no conformidades	Anual
Definir acciones preventivas y correctivas en función de la alarma	Anual
Revisión	Anual

Herramientas TIC y recursos de monitorización de consumo y generación

El Ayuntamiento ya ha iniciado la monitorización de consumos y tiene planificado alcanzar en 2020 los 400 edificios que consumen el 88% de la energía final total. Esta monitorización ha de ir progresivamente elevando la profundización dentro de cada edificio, disgregando consumos por cargas y zonas. Además, ha de permitir, mediante una plataforma diseñada para tal fin, el análisis tanto de forma agradada como disgregada de las diferentes cargas motorizadas, por tipología de edificio, etc., definiendo alarmas, indicadores de desempeño energético automáticos e informes periódicos.

Es necesario aprovechar las capacidades de los contadores inteligentes, mediante la implementación de herramientas de análisis de los datos recabados por estos equipos. Así, se podrán monitorizar aquellos edificios de menor tamaño y consumo en las cargas estén claramente definidas. Esta herramienta deberá incorporarse a la plataforma de monitorización y análisis de cargas disgregadas de los edificios de mayor consumo.

Junto con la monitorización de consumos y diferentes cargas, se deberá inventariar, documentar y mantener actualizada toda la información relacionada con la demanda y el consumo energético de los edificios municipales, incluyendo tanto las constructivas (superficies iluminadas, climatizadas, útiles y construidas) como la de los equipos y sistemas consumidores (potencias, eficiencias, carga, etc.).



El Ayuntamiento de Madrid y la Autosuficiencia Energética Hoja de Ruta Madrid 2030

El siguiente paso ha de ser la tele gestión de las cargas, pudiendo desconectarse bien automáticamente o por orden desde una central.

En la **Tabla 7-16 Planificación de herramientas de monitorización y análisis.** se recoge el calendario propuesto en la planificación del propio Ayuntamiento en su Plan A y se extiende hasta alcanzar la monitorización del 100% de los consumos y la implementación de la tele gestión de las cargas.

Es importante resaltar que la plataforma ha de aunar las diferentes herramientas aquí descritas, y facilitar el análisis de los datos recabados.

Tabla 7-16 Planificación de herramientas de monitorización y análisis.

Herramientas y recursos de monitorización y análisis			
Herramientas y recursos	2018-2025		
Inventariado de equipos y cargas del edificio	2018		
Facturación energética (MEGA, MEGA+)	2018		
Perfiles de consumo (Contadores inteligentes)	2020		
Monitorización de cargas [400 edificios]	2022		
Monitorización de cargas [100%]	2025		
Sistemas de gestión de la demanda, tele-gestión (gradual) [100%]	2030		

Iluminación

En los análisis realizados, se ha supuesto un 20% de penetración de la tecnología LED en los sistemas de iluminación de los edificios municipales. Aunque se desconoce la ratio de reposición de luminarias anuales se propone un objetivo exigente (ver **Tabla 7-17**).

La implementación de sistemas de gestión y automatización se hará en paralelo a la implementación de los sistemas de monitorización o a lo largo del año posterior.

Tabla 7-17. Planificación de actuaciones en Iluminación.

Iluminación	
Iluminación LED	
70%	2020
100%	2025
Sistema de gestión y automatización de iluminación	Gradual
10%	2020
40%	2025
100%	2030



El Ayuntamiento de Madrid y la Autosuficiencia Energética	18/12/2017
Hoja de Ruta Madrid 2030	

Climatización

El primer paso prioritario en climatización es la mejora del comportamiento térmico de los edificios mediante la rehabilitación energética, que reduzca la demanda de los mismos. La planificación de la rehabilitación ha de centrase en los edificios de las tipologías *Deportivo* y *Educativo e* implementando actuaciones parciales como un plan "renove" de ventanas, mejora del aislamiento en accesos (cortinas aire caliente), etc.

Durante los próximos tres años se debe continuar con la transición energética ya iniciada de las calderas de gasóleo C y gas natural, que ha de realizarse directamente hacia la electrificación mediante bombas de calor, lo que suponen pasar de la priorización que determina la planificación municipal (Plan A), a considerar solo la electrificación como medida viable para la consecución del objetivo de emisiones cero, y autosuficiencia.

A su vez, es importante centralizar todos los sistemas de climatización existentes, eliminando todos los equipos autónomos, calefactores y ventiladores que pudieran existir en los edificios municipales, para lo que también es importante implantar buenos hábitos energéticos.

Los sistemas de climatización han de implementar los sistemas ya existentes de recirculación y "free-cooling". Además, se han de aprovechar al máximo los diseños bioclimáticos que permiten reducir la demanda externa de climatización (parasoles, fachada ventilada, etc.).

En la **Tabla 7-18** se propone un calendario sobre las actuaciones planteadas en climatización, partiendo de la planificación existente dentro del Plan A, pero estableciendo la electrificación al 100% como única vía posible para alcanzar el objetivo de emisiones cero y autosuficiencia.

Tabla 7-18 Planificación de las actuaciones en climatización.

Climatización		
Rehabilitación energética	Anual	
Rehabilitación energética de al menos el 4% de la superficie construida anual	Anual	
Plan renove de ventanas y puertas	Anual	
Electrificación de la climatización		
Electrificación de calderas de gasóleo C	2020	
Electrificación de la climatización en edificios de nueva construcción o de rehabilitación integral	2017	
Electrificación de calderas de gas natural	2030	
50%	2025	
100%	2030	
Mejoras en eficiencia de los equipos de climatización	100% en 2025	
Aislamiento de tuberías y bombas de impulsión	gradual	
Instalación de sondas de CO₂en edificios con alta ocupación	gradual	
Sustitución de bombas de calor antiguas por otras de mayor rendimiento	2030	



El Ayuntamiento de Madrid y la Autosuficiencia Energética	18/12/2017
Hoia de Ruta Madrid 2030	

Es importante volver a señalar la importancia de las medidas en **Climatización**, por su peso en el total del consumo; y en especial en edificios dentro de **Deportivo** y **Educativo**. Es por tanto necesario priorizar las actuaciones en rehabilitación energética y electrificación de la demanda sobre estas dos tipologías, siendo recomendable desarrollar una planificación específica sobre ellas. Además, como se ha señalado en el Escenario de Autosuficiencia EA-2030, coincide con que ambas tipologías aportan mayor superficie disponible sobre cubiertas, y en el que se pueden alcanzar mayores grados de cobertura fotovoltaica de sus demandas energéticas.

ACS

Es necesario realizar un inventario de sistemas térmico-solares y su situación y evaluar en profundidad los equipos y sistemas que cubren la demanda de ACS (incluidas piscinas). Aunque la propuesta inicial es la electrificación, la hibridación con sistemas térmicos solares puede ser tomada en consideración en aquellos casos en los que se justifique técnica y económicamente (ver **Tabla 7-19**).

Tabla 7-19 Planificación de las actuaciones en ACS.

ACS	
Electrificación ACS con sistemas eficientes	
100%	2025
Sistemas de ahorro de agua	
100%	2020
Cobertura solar	
60%	2030

Otros

La principal medida que tomar se corresponde con la ya mencionada monitorización de consumos y cargas (ver **Tabla 7-20**), lo que permitirá detectar e identificar aquellos consumos innecesarios.

Tabla 7-20 Planificación de las actuaciones en Otros.

Otros	
Monitorización de consumos y cargas	Gradual
Automatización y telecontrol de cargas	Gradual
Instalación de sistemas eliminadores de consumos fantasmas	2020
Medidas en equipos	
Renovación de equipos bajo criterios de eficiencia	Anual
Medidas económicas	
Optimización de la potencia contratada	Continua
Agua	



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Otros	
Instalación de perlizadores en grifos y duchas	2020
Instalación de temporizadores o sensores de movimiento en grifos	2020
Instalación de cisternas de doble pulsador	2020

Sistemas fotovoltaicos de autoconsumo

El presupuesto disponible es el factor limitante para alcanzar los objetivos de autosuficiencia del Escenario de Autosuficiencia EA-2030 (ver *Tabla 7-21*).Por una parte, se deberá disponer de presupuesto para medidas de eficiencia y rehabilitación energética y, por otra parte, de presupuesto para la implantación de los sistemas fotovoltaicos.

Tabla 7-21 Escenario de Autosuficiencia EA-2030.

	Consumo total 2016, GWh	Escenario de ahorros a 2030	Consumo total EE-2030, GWh
Administrativo	49	-43%	28
Cultural	38	-50%	19
Deportivo	84	-53%	39
Educativo	85	-51%	42
Otros	21	-51%	11
Seguridad	18	-50%	9
Servicios Sociales	36	-51%	18
TOTAL ANALIZADO	331	-50%	166
NO ANALIZADO	15	-50%	7
TOTAL	346	-50%	173

A continuación (ver **Tabla 7-22**), se realiza una planificación de la implantación de la potencia fotovoltaica desde 2018 hasta 2030. La progresión se plantea exponencial por la curva de aprendizaje e incluye la planificación de actuaciones iniciadas por el Ayuntamiento de Madrid y las del Plan A.

Es fundamental que antes de instalar sistemas fotovoltaicos sobre edificios se realicen los estudios necesarios sobre cada caso en particular, evaluado los espacios disponibles sobre el terreno y los sombreamientos y analizando los perfiles de consumos, las cargas, los equipos existentes y los horarios y usos del edificio, de forma que se pueda maximizar el autoconsumo instantáneo.

El Ayuntamiento ya ha comenzado a realizar los estudios específicos sobre edificios para las actuaciones a realizar durante este mismo año. Sin embargo, no se incluyen evaluaciones en detalle de la convergencia de los perfiles de consumo y generación.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Tabla 7-22 Planificación del potencial fotovoltaico a lo largo del periodo 2018-2030.

Potencial fotovoltaico (MWp)				
	Objetivo	2020	2025	2030
Azoteas	60	7,5	18,0	34,5
Rehabilitación y adecuación de espacios	10	1,8	3,2	5,0
Fachadas	5	0,5	2,0	2,5
Total edificios	75	9,8	23,2	42,0
Total otros espacios	45-49	5	15-17	25-27
TOTAL AUTOSUFICIENCIA	120-124	14,8	38,2-40,2	67-69

En la fase inicial de esta Hoja de Ruta, las actuaciones llevadas a cabo pueden dimensionarse sin alcanzar el 100% del consumo existente en cada edificio, pero ha de proyectarse en las actividades futuras. Es ahí cuando es fundamental el análisis de los perfiles de carga y generación.

A medida que se va desarrollando la tecnología fotovoltaica, los modelos de gestión y se eliminan las trabas de la normativa actual, el coste de la instalación disminuye, lo que posibilita la instalación de mayor potencia en los próximos años.

En la **Tabla 7-23** se listan algunas actuaciones más específicas dentro del escenario de autosuficiencia EA-2030, que en ocasiones aceleraran la consecución de los objetivos (como las actuaciones sobre *Deportivo* y *Educativo*); y en otros la representatividad de las mismas será una vía para la promoción de este tipo actuaciones entre la sociedad y empresas.

Tabla 7-23 Actuaciones específicas dentro del EA-2030.

Potencial fotovoltaico

- Planificación global de sistemas de autoconsumo en edificios.
- Planificación especifica en edificios e instalaciones *Deportivas* y *Educativas* hasta el 100% de autoconsumo.
- Al menos una actuación representativa anual, incorporando sistemas en cubiertas, fachadas e instalaciones complejas.
- Instalaciones fotovoltaicas en edificios de nueva construcción o de rehabilitación integral (Edificios de Consumo Casi Nulo) -> Aproximadamente 50 Wp/m² construido.
- Sistemas de sombreamiento, pérgolas, etc. en parques, plazas y avenidas con sistemas de generación fotovoltaica incorporado.

Sistema de monitorización y análisis de los sistemas fotovoltaicos

La monitorización de los sistemas fotovoltaicos es una pieza clave en la gestión energética, ya que juega un papel crucial en el mantenimiento del parque fotovoltaico. Cuando el parque es



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

aún reducido, un sistema de monitorización a nivel inversor es suficiente, sobre todo cuando las instalaciones son de pequeñas dimensiones.

El Ayuntamiento de Madrid dispone ya desde diciembre de 2016 de un sistema básico de monitorización de las 5 instalaciones existentes, conectadas a la red. A medida que crece el parque y aumenta el número de instalaciones de mayor tamaño, es recomendable comenzar con una monitorización más en detalle, a nivel de ramas y cajas de conexión.

Es necesario avanzar sobre el centro de control existente, hacia un sistema con una mayor profundidad de destalle y con herramientas de análisis, que permita el establecimiento de alarmas y seguimiento automático del funcionamiento de los sistemas (ver *Anexo V: Recomendaciones sobre instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo en entornos urbanos*).

La necesidad de un sistema de monitorización más exhaustivo llega a ser fundamental en el momento en que se intensifica la penetración fotovoltaica en la demanda municipal, debido a que se empiezan a implementar intercambios virtuales a través de las redes de distribución.

El parque inmobiliario municipal es numeroso y se encuentra repartido por los 21 Distritos que conforman la ciudad, por lo que tener un control en tiempo real de la generación y de la demanda es clave para gestionarlos de la forma más eficiente posible. Utilizando modelos de predicción de la producción a corto plazo, se pueden diseñar alarmas por distintas incidencias o problemas que pueden surgir y obtener información sobre la que trabajar nuevos modelos de diseño y gestión que se adapten mejor a las necesidades reales. Todo ello mediante una aplicación única y centralizada que facilite el tratado de los datos.

En la **Tabla 7-24** se listan alguno de las actuaciones a tomar dentro de la monitorización de los sistemas de generación. Estos han de constituir la herramienta principal para la operación y mantenimiento de los sistemas, y cuanto mayor profundidad de detalle y mejores herramientas de análisis se dispongan, el mantenimiento podrá focalizarse hacia el mantenimiento predictivo e la condición, reduciendo visitas a las instalaciones, y adelantándose a los fallos.

Tabla 7-24 Actuaciones en monitorización de los sistemas de generación.

Sistema de monitorización de sistemas fotovoltaicos

- Centro de control para la monitorización y herramientas de análisis avanzado (antes de 2020).
- Monitorización de variables meteorológicas.
- Nivel básico: monitorización a nivel inversor.
- Nivel detallado: monitorización en ramas y/o cajas de conexión.
- Herramientas de análisis y diagnóstico de rendimientos (gráficas, indicadores de desempeño).
- Alarmas.
- Predicción de la producción a corto plazo.
- Gestión documental de equipos y mantenimiento.
- Norma IEC IEC61724.



18/12/2017

Hoja de Ruta Madrid 2030

Operación y mantenimiento

Como se adelantaba antes, la operación y mantenimiento están estrechamente ligados a la monitorización del parque fotovoltaico y sus dimensiones.

Dentro de una estructura tan compleja como la que tiene el Ayuntamiento de Madrid, es recomendable la centralización de la Operación y el mantenimiento, con objeto de unificar partidas presupuestarias, optimizar la gestión de repuestos y, por supuesto, la gestión de la información (paradas, alarmas, etc.).

El mantenimiento preventivo se ha de planificar en base al coste-beneficio y a las dimensiones del parque fotovoltaico. A medida que el sistema de monitorización lo permita, parte del mantenimiento preventivo sería sustituido por el mantenimiento predictivo.

El mantenimiento correctivo necesita de la existencia de partidas presupuestarias disponibles para resolver de forma urgente los problemas que existan. Aunque la incidencia de fallos en los sistemas fotovoltaicos es pequeña, a medida que crezca el parque fotovoltaico, será necesario disponer de un presupuesto de emergencia para reparar con celeridad los fallos que ocurran.

En la **Tabla 7-25** se resumen parte de lo expuesto en el correspondiente capítulo de operación y mantenimiento del *Anexo V: Recomendaciones sobre instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo en entornos urbanos*.

Tabla 7-25. Actuaciones en Operación y mantenimiento.

Operación y mantenimiento

- Centralización de la O&M.
- Mantenimiento basado en el sistema de monitorización (mantenimiento predictivo).
- Mantenimiento preventivo optimizado en función de la monitorización:
 - Una visita anual mínima (inspección visual, apriete, mediciones eléctricas, etc.).
 - Inspecciones detalladas a emplazamientos seleccionados (cámara termográfica, trazadoras de curvas, etc.).
- Partidas presupuestarias de emergencia para mantenimiento correctivo.
- Evaluar el coste de los recambios de equipos (principalmente inversores) a lo largo de la vida útil de la planta.
- Gestión de piezas de recambio.

Cabe resaltar la obligatoriedad de las inspecciones iniciales y periódicas que impone el Reglamento Electrotécnico para baja tensión, aprobado por el RD 842/2002. Dicho Reglamento señala que serán objeto de inspecciones iniciales, entre otras, aquellas instalaciones realizadas en locales de pública concurrencia y piscinas con potencia instalada superior a 10 kW. En cuanto a las inspecciones periódicas, se efectuarán cada 5 años. Por tanto, el Ayuntamiento de Madrid deberá tener en consideración dichas inspecciones en aquellos inmuebles de su parque inmobiliario municipal que cumplan estas características.