

# EDIFICIOS VERDES: APROVECHANDO LAS AZOTEAS DE MADRID PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN

Autora: Marta Hurtado Martín

## Índice General

1. Resumen Ejecutivo .....	4
2. Objetivo .....	4
3. Antecedentes .....	5
3.1. Características demográficas y físicas del Barrio de Peñagrande .....	5
3.2. Clima en Madrid .....	8
3.3. Contaminación .....	11
4. Normativa.....	13
5. Revisión de literatura .....	14
5.1. Cambio climático.....	14
5.2. Contaminación y límites establecidos para la protección de la salud .....	15
5.2.1. Partículas en suspensión PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> .....	16
5.2.2. Compuestos de azufre.....	16
5.2.3. Compuestos de nitrógeno.....	17
5.2.4. Óxidos de Carbono .....	17
5.2.5. Hidrocarburos.....	17
5.2.6. Metales pesados .....	18
5.2.7. Ozono .....	18
5.3. Soluciones para la reducción de la contaminación: Tejados verdes.....	18
5.3.1. Extensivos.....	20
5.3.2. Intensivos .....	21
5.4. Comparación entre tejados extensivos e intensivos.....	21
5.5. Ventajas y desventajas .....	23
5.6. Medidas y proyectos para promover los tejados verdes.....	23
5.6.1. Medidas y proyectos realizados en Europa .....	23
5.6.2. Proyectos realizados en América del Norte .....	24
5.6.3. Proyectos realizados en Asia .....	26
5.7. Medidas similares implantadas en la Ciudad de Madrid .....	26
6. Planteamiento de alternativas .....	27
6.1. No hacer nada .....	28
6.2. Implantación de tejados verdes extensivos .....	29
6.3. Implantación de tejados verdes intensivos.....	31

7.	Valoración de alternativas.....	33
8.	Fases y actividades para la implementación del proyecto.....	34
9.	Presupuesto .....	36
10.	Plan de evaluación del impacto de las medidas a adoptar .....	37
11.	Plan de seguimiento del proyecto.....	37
12.	Referencias Bibliográficas .....	38
13.	Anexos .....	47
7.1.	Anexo I. Documentación gráfica de los edificios en construcción.....	47
7.2.	Anexo II. Documentación gráfica de contaminación .....	48
7.3.	Anexo III. Mediciones de los contaminantes .....	49
7.4.	Anexo IV. Documentación gráfica de las inundaciones en el Barrio de Peñagrande .....	61
7.5.	Anexo V. Fases y actividades del proyecto.....	62

## Índice de Figuras

Figura 01. Evolución de la población en el Barrio de Peñagrande.....	5
Figura 02. Evolución en la Edad de la población por tramos entre los años 2005-2017 .....	6
Figura 03. Evolución en la Edad media de la población del barrio de Peñagrande .....	6
Figura 04. Ejemplos de edificios con azoteas de gravilla en el Barrio de Peñagrande y edificios en construcción.....	7
Figura 05. Temperatura media mensual en los años 2012-2017.....	8
Figura 06. Precipitación anual total (1988-2016).....	9
Figura 07. Número de días de lluvia al año (1988-2016) .....	9
Figura 08. Número de días de tormentas anuales (1988-2016) .....	10
Figura 09. Precipitación máxima registrada en 24h (1988-2016).....	10
Figura 10. Superación del límite de 40 µg/m <sup>3</sup> anuales en las estaciones de Madrid. ....	11
Figura 11. Contaminación mensual en la Estación del Barrio del Pilar por NO <sub>2</sub> . ....	12
Figura 12. Mapa de edificios estudiados en el proyecto.....	27
Figura 13. Diagrama de Gantt .....	35
Figura 14. Edificios en construcción en la zona sur del Barrio del Pilar .....	47
Figura 15. Comparación de días son contaminación y días con contaminación.....	48
Figura 16. Inundaciones en el Barrio de Peñagrande .....	61

## Índice de Tablas

Tabla 1. Temperatura media normal en la Estación Meteorológica de Retiro (1986-2016) .....	8
Tabla 2. Absorción de contaminación anual por tipo de planta por metro cuadrado.....	21
Tabla 3. Comparativa entre las principales características de los tejados extensivos e intensivos	22
Tabla 4. Comparación de ventajas y desventajas de tejados verdes con respecto a tejados convencionales.....	23
Tabla 5. Costes y beneficios económicos y ambientales de una cubierta vegetal extensiva .....	29
Tabla 6. Costes y beneficios económicos y ambientales de una cubierta vegetal intensiva .....	31
Tabla 7. Presupuesto para un tejado extensivo no transitable .....	36
Tabla 8. Contaminación por SO <sub>2</sub> en las diferentes estaciones de Madrid (2013-2017) .....	49
Tabla 9. Contaminación por NO <sub>2</sub> en las diferentes estaciones de Madrid (2013-2017).....	51
Tabla 10. Contaminación por PM <sub>2,5</sub> en las diferentes estaciones de Madrid (2013-2017) .....	54
Tabla 11. Contaminación por PM <sub>10</sub> en las diferentes estaciones de Madrid (2013-2017) .....	56
Tabla 12. Contaminación por O <sub>3</sub> en las diferentes estaciones de Madrid (2013-2017) .....	58
Tabla 13. Fases y actividades del Proyecto con sus interdependencias .....	62

## 1. Resumen Ejecutivo

El presente proyecto se ha elaborado para aprovechar algunas de las azoteas de los edificios de viviendas y edificios públicos del Barrio de Peñagrande de Madrid, con el fin de reducir la contaminación, mejorar la calidad del aire y paliar las consecuencias del cambio climático en la Ciudad de Madrid.

En las últimas décadas hemos podido observar un aumento de la contaminación en la ciudad de Madrid. Aunque en el año 2016 los niveles generales de contaminación fueron inferiores a los del año anterior, Madrid ha incumplido la legislación europea de contaminación desde 2008 (Ecologistas en Acción 2017, 2016, 2015), situación que se agrava con el aumento de temperaturas y reducción de las precipitaciones, efectos del cambio climático precisamente causados por la contaminación. A nivel mundial, los niveles de gases de efecto invernadero han llegado a su máximo histórico (WMO, 2017a).

Ante esta situación, existe un movimiento en las grandes ciudades europeas, incluida la ciudad de Madrid, para aumentar espacios verdes en zonas urbanizadas con el fin de mitigar los efectos del cambio climático en nuestras ciudades. Este movimiento plantea la necesidad de promover iniciativas en las que edificios ya construidos o que están en proceso de construcción instauren infraestructura verde en sus azoteas, incluyendo zonas ajardinadas o paneles solares, para afrontar y aminorar los efectos del cambio climático.

En este proyecto se ha elegido el barrio de Peñagrande ya que se encuentra en pleno crecimiento, con edificios que apenas tienen una década, así como solares que se encuentran vacíos o en construcción. Estos edificios son nuevos en comparación con los del Barrio del Pilar, y la mayoría tienen azoteas planas, cubiertas de gravilla, que se encuentran completamente vacías.

Tomando como referencia este movimiento, a través del presente proyecto se plantean diferentes alternativas para proporcionar coberturas verdes en dichas azoteas para la reducción de la contaminación y la mejora de la calidad del aire en el barrio mencionado. Dado que varios edificios no son propiedad del estado, se plantean también incentivos que el ayuntamiento puede proporcionar a las comunidades de vecinos para la implementación de dichas medidas, así como un plan de evaluación y seguimiento de las medidas implantadas.

## 2. Objetivo

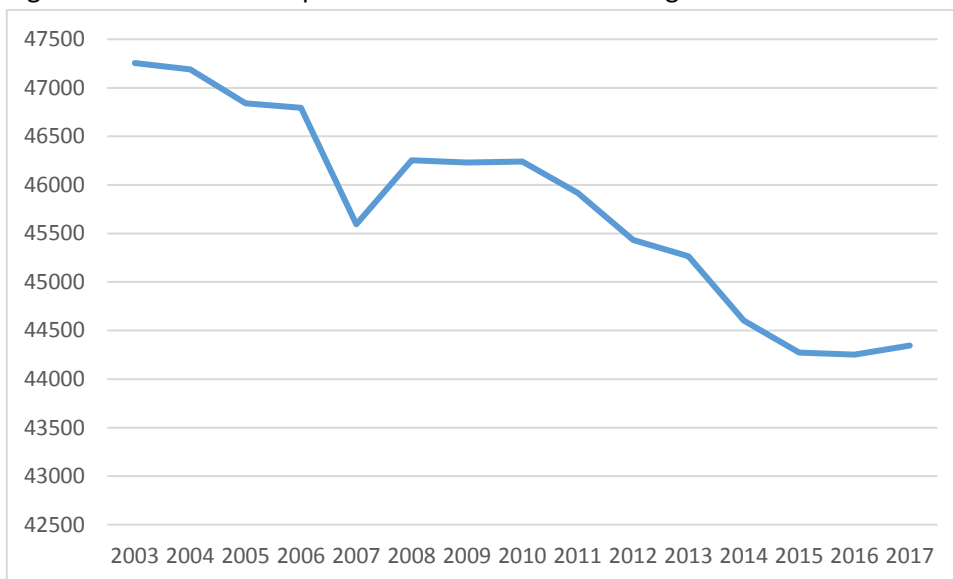
El objetivo principal de este proyecto es reducir la contaminación de la ciudad de Madrid aprovechando las azoteas de los edificios del Barrio de Peñagrande utilizando infraestructura verde.

### 3. Antecedentes

#### 3.1. Características demográficas y físicas del Barrio de Peñagrande

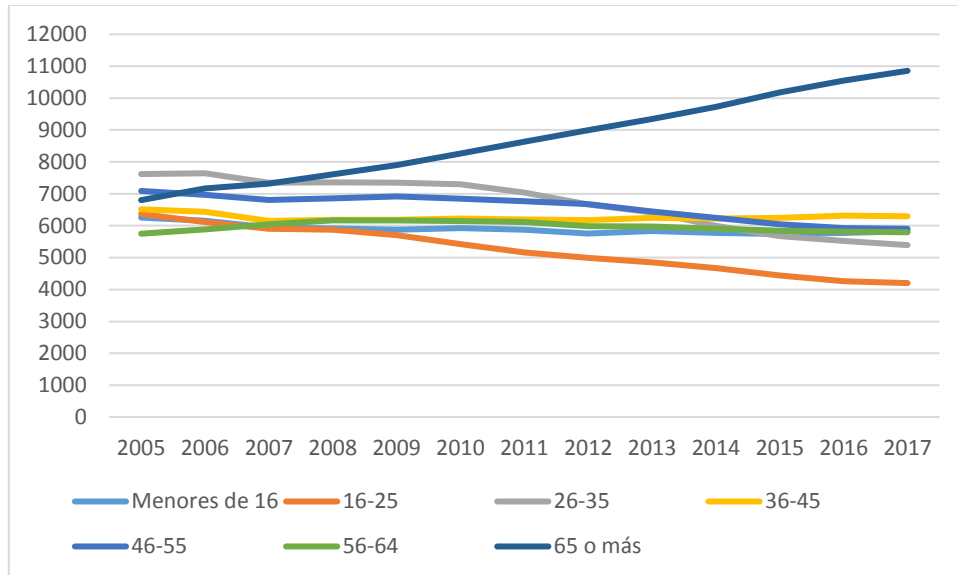
El Barrio de Peñagrande se sitúa en el Distrito de Fuencarral-El Pardo (Ayuntamiento de Madrid, 2014a) (Subdirección General de Estadística, 2014). En la actualidad cuenta con una superficie de 288,73Ha con 44.344 habitantes, lo que muestra una densidad de población de 153,58 Hab/Ha, haciendo que este barrio sea uno de los más densamente poblados de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2017a). Esta cantidad se ha visto reducida desde 2003, sin embargo, en 2016 y 2017 se ha mantenido ligeramente estable e incluso ha habido un pequeño aumento de población en 2017 (Figura 1). Aunque la media de edad de la población del barrio ha aumentado en los últimos años, actualmente se mantiene en 45,39 años (Figura 2 y 3).

Figura 1. Evolución de la población en el Barrio de Peñagrande



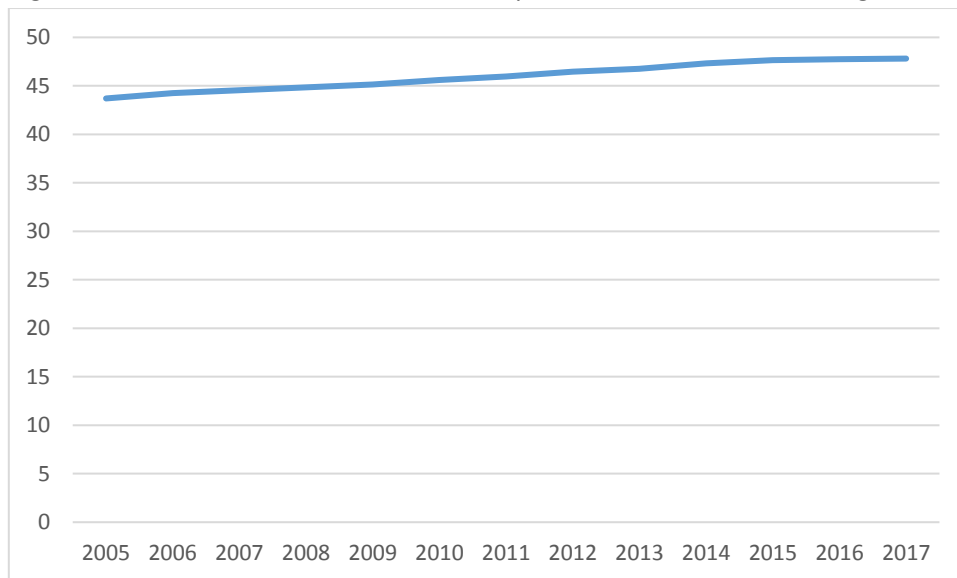
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos provisionales del Padrón Municipal de Habitantes (Ayuntamiento de Madrid, 2017b)

Figura 2. Evolución en la Edad de la población por tramos entre los años 2005-2017



Fuente: Elaboración propia a partir del banco de datos del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2017c)

Figura 3. Evolución en la Edad media de la población del barrio de Peñagrande

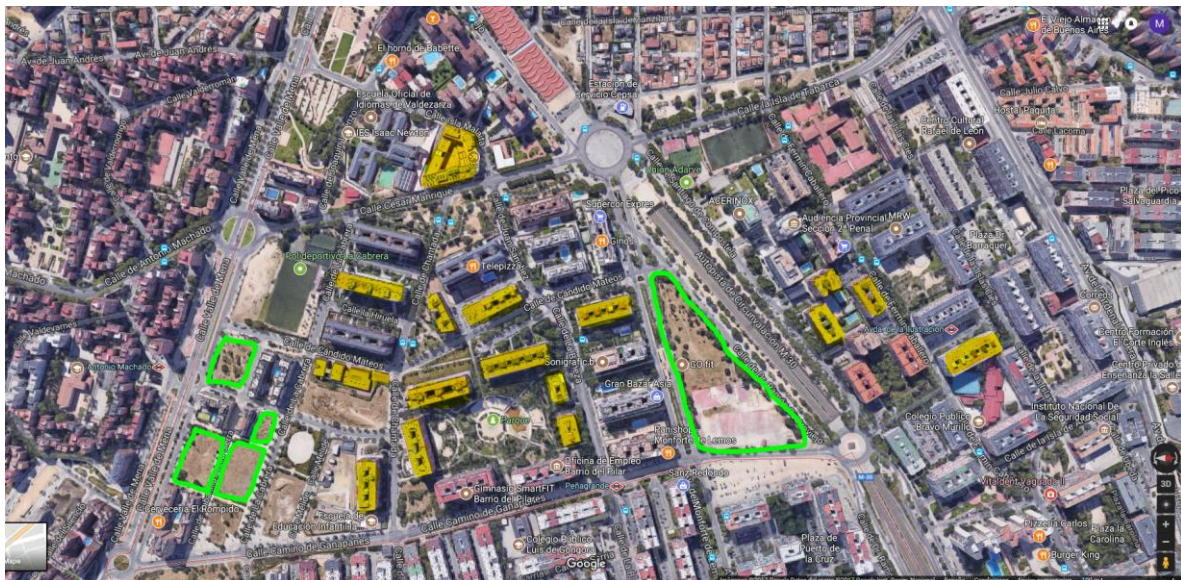


Fuente: Elaboración propia a partir del banco de datos del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2017c)

En cuanto a la organización urbanística, esta zona se caracteriza por tener una gran cantidad de edificios altos, muchos de ellos superiores a 10 plantas. Los edificios suelen estar organizados bien en cuadrícula con tiendas en la parte baja de cada edificio de viviendas, o bien organizados alrededor de plazas o parques. Un gran número de estos edificios muestran azoteas planas de gravilla (Figura

4), utilizada principalmente para evitar que el revestimiento del edificio se desgaste debido a la humedad o al efecto directo de los rayos ultravioleta (Miller, 2017). Aunque una parte del barrio se encuentra dentro del anillo de la M-30, la mayor parte del barrio se encuentra fuera de este perímetro, por lo que no está regulado por el Servicio de Estacionamiento Regulado (SER) (Ayuntamiento de Madrid, 2017d). Al no estar regulado, en esta zona aparca durante el día parte de la población que reside en las afueras, pero trabaja en el centro de Madrid y también residentes del Barrio del Pilar que sí se encuentran bajo la regulación de aparcamiento. Esto implica que, aquellos días que no se puede aparcar en zona SER por altos niveles de contaminación resulte muy complicado aparcar en el Barrio de Peñagrande. Del mismo modo, las restricciones de tráfico de los protocolos de contaminación no afectan a la gran mayoría del barrio por encontrarse fuera de la zona SER y fuera de la M-30 (Junta de Gobierno, 2016).

Figura 4. Ejemplos de edificios con azoteas de gravilla en el Barrio de Peñagrande y edificios en construcción



Fuente: Elaboración propia usando Google Maps. En amarillo los ejemplos de tejados con gravilla. En verde los solares en construcción.

Además, este barrio se encuentra en pleno crecimiento con la construcción de 4 bloques de viviendas en los solares vacíos del límite sur, en la Avenida Valle de Mena y la construcción de un GO fit financiado por el Ayuntamiento de Madrid en la Avenida Monforte de Lemos con Camino de Ganapanes (Figura 4) (Anexo I).

En cuanto a la relación entre terreno pavimentado/construido y zonas verdes o ajardinadas, en la Ciudad de Madrid solo 6219,15Ha de 60.430,70 Ha (el 10,29% de la superficie de la ciudad) son zonas verdes de conservación municipal. Este distrito tiene un 9.55% de su superficie cubierto por zonas verdes, lo que supone 593,72 Ha de superficie verde, 24,83m<sup>2</sup> por habitante. Esta cifra está por encima de los 10-15 m<sup>2</sup> por habitante mínimos recomendados de la OMS (Red de Redes de



Desarrollo Local Sostenible, 2010a) (Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible, 2010b). Este dato no incluye las 15.800Ha del Monte del Pardo, aunque formen parte del Distrito (Ayuntamiento de Madrid, 2017e).

### 3.2. Clima en Madrid

La ciudad de Madrid tiene un clima mediterráneo continental caracterizándose por unos veranos más cálidos y unos inviernos más fríos con grandes diferencias entre la temperatura nocturna y diurna (Agencia Estatal de Meteorología, 2011). En la Tabla 1. se representan la temperatura media normal de los últimos 30 años en la estación de Retiro para ilustrar la temperatura de la ciudad.

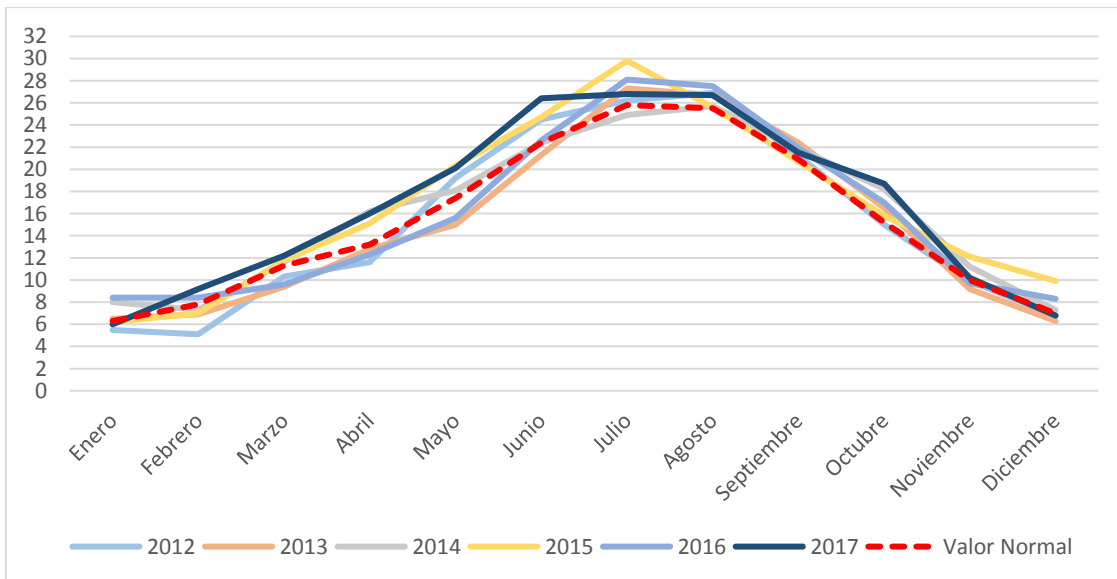
Tabla 1. Temperatura media normal en la Estación Meteorológica de Retiro (1986-2016)

Mes	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Valor medio °C	6,3	7,8	11,3	13,2	17,4	22,4	25,8	25,5	20,9	15,2	10	7

Fuente: (Ayuntamiento de Madrid, 2017f)

Sin embargo, si analizamos la temperatura de los últimos 5 años con respecto a la temperatura media normal, podemos observar que la temperatura media mensual está aumentando con respecto a la media normal de los últimos 30 años, lo que implica que estamos teniendo temperaturas más cálidas o extremadamente cálidas para lo que es el clima normal de Madrid (Figura 5).

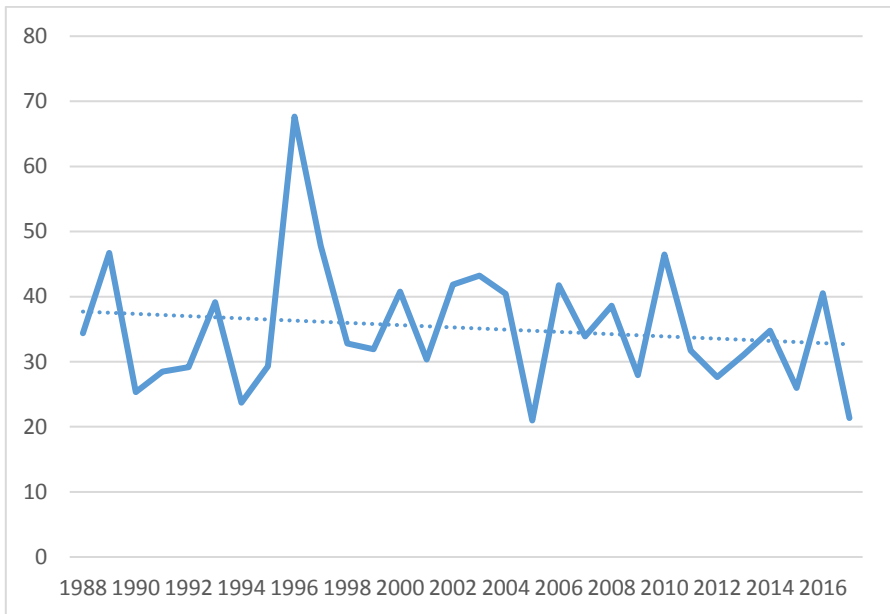
Figura 5. Temperatura media mensual en los años 2012-2017



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de AEMET y del Ayuntamiento de Madrid (Agencia Estatal de Meteorología, 2017) (Ayuntamiento de Madrid, 2017f).

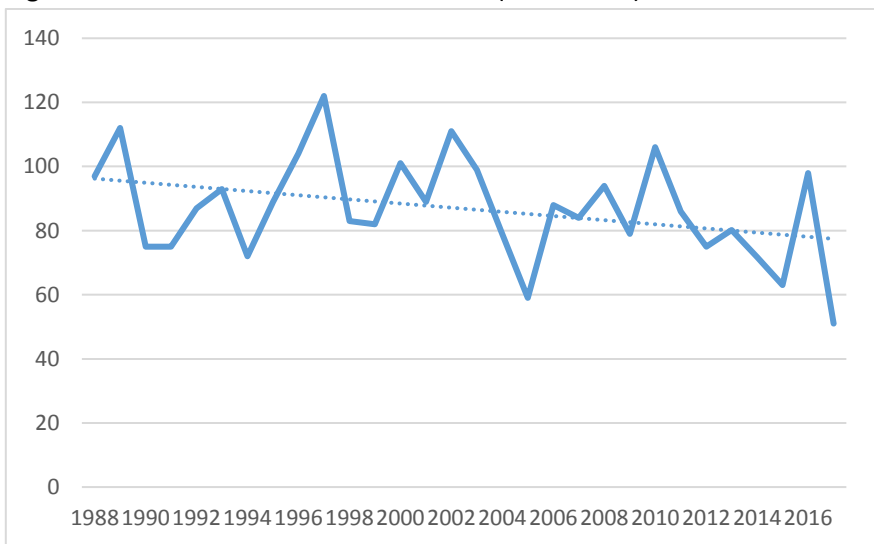
En cuanto a las precipitaciones, este clima se caracteriza por tener lluvias poco abundantes que se producen principalmente en primavera y otoño que no llegan a sumar 500mm al año, cantidad que está sufriendo un ligero descenso en los últimos años (Figura 6), al igual que se está reduciendo la cantidad de días de lluvia y los días tormentosos producidos anualmente (Figura 7 y 8).

Figura 6. Precipitación anual total (1988-2017)



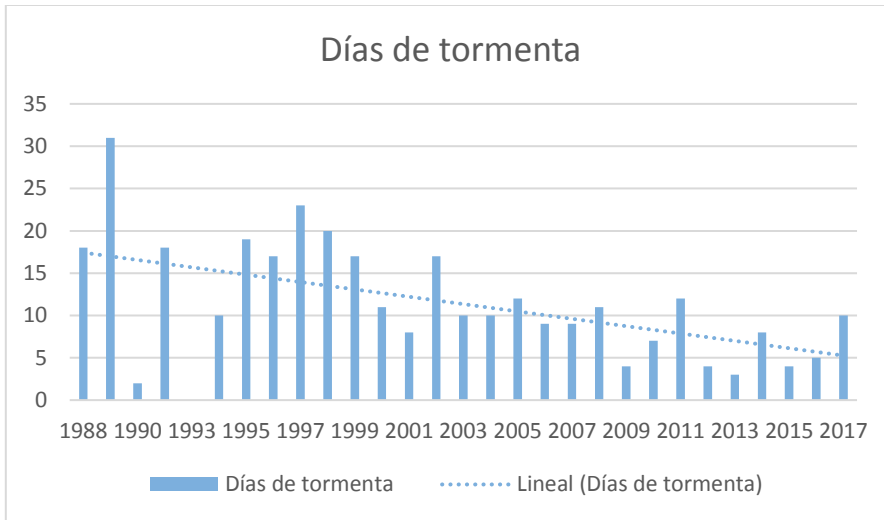
Fuente: Elaboración propia a partir del banco de datos del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2017g)

Figura 7. Número de días de lluvia al año (1988-2017)



Fuente: Elaboración propia a partir del banco de datos del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2017g)

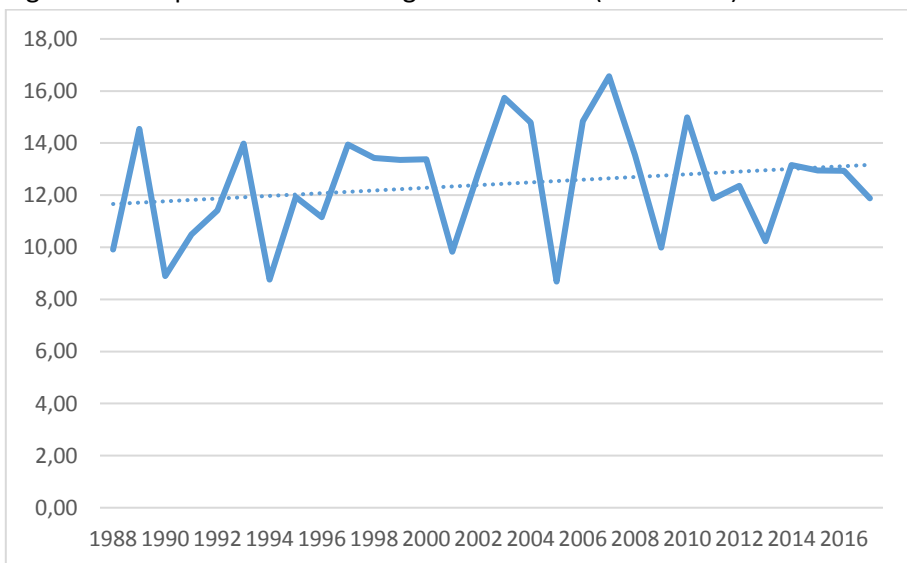
Figura 8. Número de días de tormentas anuales (1988-2017)



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del banco de datos del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2017g)

Sin embargo, se puede observar que en los últimos años ha habido un ligero ascenso en la cantidad de precipitación máxima producida en 24h (Figura 9).

Figura 9. Precipitación máxima registrada en 24h (1988-2017)



Fuente: Elaboración propia a partir del banco de datos del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2017g)

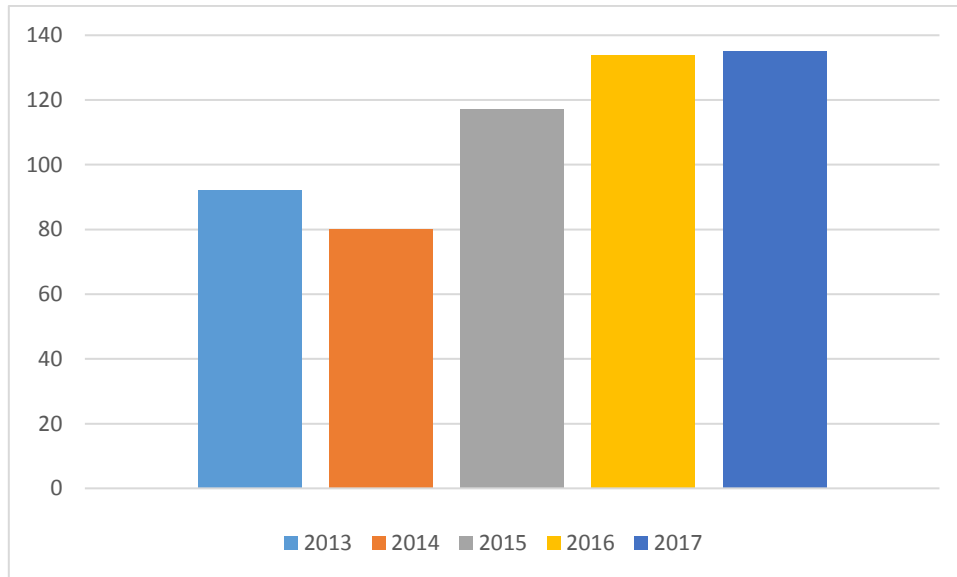
Estos datos indican que, aunque los cambios se están produciendo muy lentamente, el clima de Madrid está siendo un poco más extremo y seco, reduciéndose la cantidad de lluvia anual, pero incrementando su intensidad, pues hay pocos eventos de lluvia, pero los que hay son más intensos

de lo que solían ser (Abraham, 2017). Estos sucesos de alta intensidad de lluvia están produciendo con más frecuencia inundaciones en la ciudad de Madrid, como las que se han producido este año 2017 en los meses de Mayo, Julio, Agosto y Octubre (Delgado Sanz, 2017) (Durán, Galdón, & Agencias, 2017) (EFE, 2017) (MDO, 2017) (Gómez, 2017) (eldiario, 2017) (Agencias, 2017).

### 3.3. Contaminación

Uno de los mayores problemas de contaminación producidos en la Ciudad de Madrid es la producida por el NO<sub>2</sub>. En los últimos 5 años se ha superado el límite anual de NO<sub>2</sub> una media de 112 veces al año (Figura 10). Además, se puede observar que el año 2017 es el primer año con más superaciones del límite anual, con 135 superaciones en todo el año.

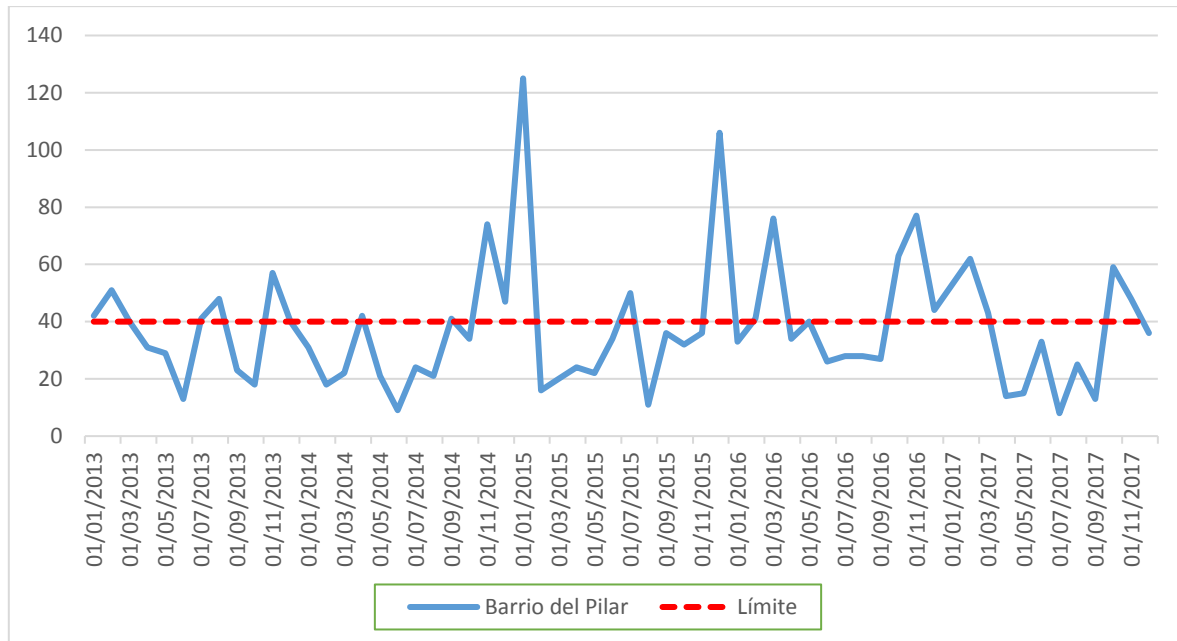
Figura 10. Superación del límite de 40 µg/m<sup>3</sup> anuales en las estaciones de Madrid.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2017h) (Ayuntamiento de Madrid, 2017i)

Según las mediciones de la Estación de Barrio del Pilar, la más cercana al Barrio de Peñagrande, el límite de emisiones de NO<sub>2</sub> ha sido superado cada vez con más frecuencia, con niveles muy por encima de lo permitido por la normativa europea (Figura 11). Aunque en esta estación también se miden niveles de CO y SO<sub>2</sub>, estos contaminantes no llegan a superar los límites máximos permitidos y por tanto no suponen un riesgo tan importante para la salud como las emisiones del NO<sub>2</sub>. En el Anexo II se puede observar las diferencias entre un día sin contaminación y otros con contaminación.

Figura 11. Contaminación mensual en la Estación del Barrio del Pilar por NO<sub>2</sub>.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2017h).

Acorde a los datos del Ayuntamiento de Madrid, los gases de NO<sub>2</sub> de la atmosfera son producidos principalmente por el transporte rodado (54,8%) y el sector residencial comercial e institucional (calefacciones, etc.) suponiendo un 13,1% de la contaminación por NO<sub>2</sub> liberada en la atmosfera (F212; ETSII UPM, 2014).

En el Anexo III se puede observar una tabla con los niveles de contaminación de los diferentes contaminantes en las estaciones de la Ciudad de Madrid.

#### 4. Normativa

Debido al carácter ambiental de este proyecto y a que este se aplica a la construcción de tejados verdes, la normativa a tener en cuenta a la hora de implementarlo es la siguiente:

- Acuerdo de 21 de septiembre de 2017 de la Junta de Gobierno de la Ciudad de Madrid por el que se aprueba definitivamente el “Plan de Calidad del Aire de la Ciudad de Madrid y Cambio Climático (Plan A)” (Junta de Gobierno, 2017).
- Protocolo de medidas a adoptar durante episodios de alta contaminación por dióxido de nitrógeno, aprobado en Junta de Gobierno el 21 de enero de 2016 y que entró en vigor el 1 de febrero de 2016 (Junta de Gobierno, 2016).
- Norma UNE-EN ISO 14001:2015 sobre Sistemas de Gestión Ambiental (UNE-EN ISO 14001:2015).
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental (BOE, 2013).
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire (BOE, 2011).
- Orden VIV/984/2009, de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre (BOE, 2009).
- DIRECTIVA 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa (EUR-Lex, 2008).
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera (BOE, 2007a).
- Código Técnico de la Edificación (Documento Básico HS: Salubridad, 2007) aprobados por el Real Decreto 314/2006 (BOE, 2006), de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007 (BOE, 2007b), de 19 de octubre.

## 5. Revisión de literatura

### 5.1. Cambio climático

El cambio climático en España está llevando a una reducción de las lluvias y a un aumento de las temperaturas visible y significativo desde los años 70, calentamiento que es ligeramente superior al observado globalmente, especialmente en invierno (de Castro, Martin-Vide, & Alonso, 2005) (Garrido, Willaarts, López-Gunn, & Rey, 2013). Diversos estudios calculan que la temperatura media va a aumentar aproximadamente entre 1,1 y 1,2°C para el año 2040 en invierno y entre 1,8 y 2°C en verano, especialmente en la zona del interior de la Península. Además, la tendencia parece indicar que la frecuencia de días con temperaturas máximas extremas se va a ver incrementada significativamente en primavera y otoño, a la vez que la frecuencia de días con temperaturas mínimas extremas va a tender a reducirse (de Castro, Martin-Vide, & Alonso, 2005). En cuanto a las precipitaciones, se observa una tendencia a la reducción de las precipitaciones en España, aumentando cada vez más los riesgos de sequía que ya están afectando al país. Las previsiones calculan que para el año 2040, en el escenario más optimista, las precipitaciones se van a ver reducidas en un 8% en el área de la Comunidad de Madrid. A pesar de la reducción de las precipitaciones, se espera que aumente la frecuencia de lluvias extremas al igual que los periodos de sequía van a ser más frecuentes y largos, consecuencias que se han podido comenzar a observar en los últimos años (Garrido, Willaarts, López-Gunn, & Rey, 2013). Estos escenarios futuros varían dependiendo de los niveles de contaminación que se alcancen en los próximos 30 años (de Castro, Martin-Vide, & Alonso, 2005) (Garrido, Willaarts, López-Gunn, & Rey, 2013). Si analizamos la situación concreta en Madrid, la capital ha experimentado el mayor aumento de temperatura de 16 capitales europeas entre 1970 y 2005, y se espera un aumento de la temperatura de entre 4 y 7 grados en verano y entre 2 y 4 grados en invierno durante el último cuarto del siglo XXI. Al igual que en el resto de la península, se espera que las lluvias descendan especialmente en primavera y verano. Además, se espera una reducción de la evapotranspiración del 40 al 60% durante el verano, de un 20% a un 40% durante el otoño y menos de un 20% durante primavera. En invierno se espera un aumento de menos del 20%. En cuanto a la disponibilidad del agua, desde los años 70 se ha visto una reducción del 30%, y se espera una reducción del 7% cuando la demanda aumentará un 10% entre 2027 y 2050. También, al igual que en el resto de la Península, los eventos extremos como olas de calor e inundaciones van a verse aumentadas, estas últimas especialmente en las áreas cercanas al Río Manzanares (Lázaro Touza & López-Gunn, 2012).

El aumento de las temperaturas en la ciudad con respecto a áreas no urbanas se denomina Fenómeno de Isla de Calor. Numerosos estudios se han dedicado a analizar y explicar este fenómeno y, en concreto en Madrid (Bejarano Mederos, 2002), se comenzó a estudiar a finales de los años 80, ampliándose en los años 90 (López Gómez, 1991), donde se estudió que, en Madrid, las islas de calor intensas son favorecidas por una combinación de situaciones anticiclónicas, día despejado y temperatura nocturna baja y son más débiles cuando se presentan bajas presiones, cielos cubiertos y precipitaciones (Almendros & López Gómez, 1995). En Europa, 3 de cada 4 personas vive en un entorno urbano (ONU, 2014, pág. 27), lo que implica que las ciudades están densamente pobladas en comparación con las áreas rurales. El aumento de la población en las ciudades conlleva un

aumento en la demanda de recursos, del mismo modo que existe una gran amplitud de espacios pavimentados o edificados, reduciendo el espacio verde. Estos sucesos combinados aumentan los niveles de contaminación y la temperatura en las zonas urbanas (Woogt, 2008), lo que lleva a la Ciudad de Madrid a activar los Protocolos de Contaminación (Nuñez Peiró, Román López, & Sánchez-Guevara Sánchez, 2016). Los Protocolos de Contaminación de la Ciudad de Madrid se activan en el momento en el que las previsiones meteorológicas prevén que no va a haber lluvia o viento y los niveles de NO<sub>2</sub> alcanzan valores límites que son dañinos para la salud de la población. Estos protocolos limitan la velocidad de circulación, el aparcamiento en la almendra central de Madrid y la circulación de los coches en caso de que los niveles sigan aumentando y las condiciones sigan siendo desfavorables (Ayuntamiento de Madrid, 2016a). El objetivo de estos protocolos no es reducir la contaminación, sino que deje de acumularse NO<sub>2</sub> en la atmosfera cuando no hay viento o lluvia, pues Madrid contamina más de lo que el planeta es capaz de despejar por si mismo diariamente (Ahora Madrid, 2017). Para reducir la contaminación y, por tanto, reducir los episodios de alta contaminación que nos llevan a implantar protocolos de Contaminación, el Ayuntamiento de Madrid ha realizado el Plan A de Calidad de Aire y Cambio Climático (Junta de Gobierno, 2017), implantando medidas como el cierre al tráfico a la Almendra Central de Madrid, aumento de transporte público, ampliación de aparcamientos en la periferia, renovación de la flota de vehículos sustituyéndolos por vehículos de 0 o bajas emisiones, actualización de calderas y mejora de la eficiencia energética de los edificios, entre otras medidas. Además de estas medidas, existen otros programas de ampliación y regeneración de zonas verdes que van a permitir la limpieza del aire. Estos programas los comentaré en siguientes apartados por su relevancia con este proyecto.

### ***5.2. Contaminación y límites establecidos para la protección de la salud***

La contaminación es la presencia de partículas o gases en la atmósfera que son nocivos para la salud y bienestar del ser humano y del medio ambiente, y que implican un daño, riesgo o molestia de manera directa o indirecta. La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) en su informe de noviembre de 2016 calcula que por causa de la contaminación asociada a PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> fallecen prematuramente 467.000, 68.000 y 16.000 personas al año respectivamente en la UE-28. En España, las muertes prematuras asociadas a estos contaminantes son 23.940, 4.280 y 1.760 respectivamente (AEMA, 2016, pág. 60).

Los contaminantes se dividen en dos grupos: contaminantes primarios y contaminantes secundarios. Los contaminantes primarios son las sustancias que se vierten a la atmósfera de forma directa, mientras que los contaminantes secundarios son los que se producen como resultado de una interacción química entre contaminantes primarios y los compuestos de la atmósfera. Entre los contaminantes primarios nos encontramos las partículas en suspensión PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>, los óxidos de carbono (CO<sub>x</sub>), los compuestos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), los compuestos de azufre (SO<sub>x</sub>), los metales pesados y los hidrocarburos. Entre los contaminantes secundarios encontramos como el más relevante el Ozono (O<sub>3</sub>). (Comunidad de Madrid, s.f.).



### *5.2.1. Partículas en suspensión PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>*

Las partículas en suspensión PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> son partículas sólidas o líquidas de un tamaño menor a 10 µm y 2,5 µm respectivamente que se mantienen en el aire. Suelen estar compuestas de carbono, calcio, silicio, aluminio, metales pesados, etc. Estas partículas son más peligrosas cuanto más pequeñas se presenten, pues es más probable que penetren en el organismo quedándose en los pulmones o en el torrente sanguíneo causando problemas de salud (Flores Rodríguez, 1997) (EPA, 2016a) (Comunidad de Madrid, s.f.) (ACE, 2015).

Según la normativa europea, el valor límite anual de partículas en suspensión PM<sub>10</sub> es de 40 µg/m<sup>3</sup> (EUR-Lex, 2008), mientras que la OMS recomienda que este valor anual no supere los 20 µg/m<sup>3</sup> (OMS, 2016) para evitar riesgos para la salud. En Madrid este contaminante se está viendo reducido y los valores no superan los límites de la normativa europea, aunque sí se supera ocasionalmente los límites establecidos por la OMS (Ayuntamiento de Madrid, 2016b). Para las partículas en suspensión PM<sub>2,5</sub> el valor límite anual establecido por la normativa europea es de 25 µg/m<sup>3</sup> (EUR-Lex, 2008), mientras que la OMS recomienda que este valor anual no supere los 10 µg/m<sup>3</sup> (OMS, 2016) para evitar riesgos para la salud. Al igual que con las PM<sub>10</sub>, en Madrid el PM<sub>2,5</sub> se está viendo reducido y los valores no superan los límites de la normativa europea, aunque sí se supera ocasionalmente los límites establecidos por la OMS (Ayuntamiento de Madrid, 2016b).

### *5.2.2. Compuestos de azufre*

De los compuestos de azufre el más importante es el Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) que se origina en las ciudades por la combustión de carburantes que contienen azufre, como el carbón, el fuel o los gasóleos. Tiene una vida corta en la atmósfera y se suele depositar de nuevo en la superficie, aunque en contacto con las partículas de agua pueden generar ácido sulfúrico y producir lluvias ácidas. Este tipo de contaminación se está reduciendo debido a que se están sustituyendo dichos carburantes por gas natural en las calefacciones residenciales. Los problemas de salud generados por este gas son principalmente problemas respiratorios e irritación (EPA, 2016b) (Flores Rodríguez, 1997) (Comunidad de Madrid, s.f.) (ACE, 2015).

La limitación indicada por la normativa europea con respecto al SO<sub>2</sub> es de 350 µg/m<sup>3</sup> en una hora, que no podrá superarse más de 24 veces por año civil, 125 µg/m<sup>3</sup> al día, que no podrá superarse más de 3 veces por año civil y 500 µg/m<sup>3</sup> durante tres horas consecutivas en un área > 100 Km<sup>2</sup> (EUR-Lex, 2008), mientras que la OMS reduce los valores drásticamente 20 µg/m<sup>3</sup> media diaria y 500 µg/m<sup>3</sup> de media en 10 min debido a que esta concentración en este tiempo tan reducido puede afectar seriamente la salud de personas con asma (OMS, 2016). Analizando los datos de la Ciudad de Madrid podemos observar que la concentración de este contaminante está muy por debajo de los valores límites, incluso de los valores límite indicados por la OMS, pues la media diaria no supera los 13 µg/m<sup>3</sup> y los máximos en los últimos 3 años no han superado la concentración de 94 µg/m<sup>3</sup> (Ayuntamiento de Madrid, 2016b).

### 5.2.3. Compuestos de nitrógeno

En cuanto a los compuestos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), los contaminantes más relevantes que afectan a la salud de la población son el Óxido Nítrico ( $\text{NO}$ ) y el Dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ). El  $\text{NO}$  es un gas muy tóxico que se oxida con el Ozono ( $\text{O}_3$ ) y genera  $\text{NO}_2$ , un gas fuertemente tóxico de color rojizo (EPA, 2016c) (Flores Rodríguez, 1997) (Comunidad de Madrid, s.f.) (ACE, 2015). El  $\text{NO}$  procede principalmente del transporte, por la quema del combustible Diesel, y rápidamente se oxida convirtiéndose en  $\text{NO}_2$ , siendo el principal problema de la contaminación en la Ciudad de Madrid y por el que se activan los protocolos de Contaminación mencionados anteriormente (Ahora Madrid, 2017) (Ayuntamiento de Madrid, 2016a).

El valor límite anual establecido por la Normativa Europea y por la OMS para la contaminación por  $\text{NO}_2$  es de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (OMS, 2016) (EUR-Lex, 2008), cifra que se ha superado en Madrid una media de 109 veces al año en los últimos 5 años, y como hemos visto anteriormente también se ha superado en el Barrio de Peñagrande (Figura 11) (Ayuntamiento de Madrid, 2016b).

### 5.2.4. Óxidos de Carbono

Los óxidos de carbono más relevantes en el tema de la contaminación son el monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El  $\text{CO}$  proviene principalmente de la quema de combustibles fósiles y es un gas especialmente peligroso para personas con problemas cardiovasculares, pues se combina con la hemoglobina de la sangre y reduce la capacidad de transportar oxígeno. Sin embargo, el  $\text{CO}$  es un gas que es raro que llegue a niveles tóxicos al aire libre (Comunidad de Madrid, s.f.) (EPA, 2016d) (ACE, 2015) (Flores Rodríguez, 1997). El  $\text{CO}$  se oxida con el  $\text{O}_2$  del ambiente, generando  $\text{CO}_2$ , principal gas del efecto invernadero (WMO, 2017b). Según la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2017a), la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera alcanzó un nuevo récord alcanzando las 403,3 partes por millón en 2016, lo que va a generar un aumento de la temperatura global.

El valor límite anual establecido por la normativa europea para el  $\text{CO}$  es una máxima diaria de las medias móviles octohorarias de  $10 \text{mg}/\text{m}^3$  (EUR-Lex, 2008), valor que está muy lejos de alcanzarse en Madrid, pues la concentración de este contaminante no llega a ser de media mayor de  $0,4 \text{mg}/\text{m}^3$  y se está viendo reducido en los últimos 10 años (Ayuntamiento de Madrid, 2016b).

### 5.2.5. Hidrocarburos

En cuanto a los Hidrocarburos, los principales contaminantes son: los compuestos orgánicos volátiles (COVs), originados por la combustión de gas natural, gasolina, carbón y gasóleo, entre los que destaca el benceno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ); metano ( $\text{CH}_4$ ), compuesto muy abundante en la atmósfera producido principalmente por la descomposición de materia orgánica; hidrocarburos aromáticos, COVs relacionados con el benceno que se producen por el uso de gasolinas sin plomo e; hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPS), formados por dos o más anillos de benceno o dos o más anillos de hidrocarburos aromáticos (Comunidad de Madrid, s.f.) (Flores Rodríguez, 1997).

En la normativa europea y en las estaciones meteorológicas se ha establecido un control sobre el benceno. El límite anual establecido por la normativa europea es de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (EUR-Lex, 2008), valor

que no se supera en la ciudad de Madrid con una media anual no superior a  $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pero se ha visto incrementado en los últimos 10 años (Ayuntamiento de Madrid, 2016b).

#### *5.2.6. Metales pesados*

Finalmente, entre los contaminantes primarios se encuentran los metales pesados como el plomo, arsénico, cadmio y níquel. De estos, el contaminante principal es el plomo, un metal muy tóxico que en concentraciones muy altas se acumula en los huesos y puede afectar al sistema nervioso y a la función de varios órganos. Además, una alta concentración de plomo puede afectar al crecimiento de las plantas y de los animales. Este compuesto se está viendo reducido en el aire por la eliminación del plomo en las gasolinas (Comunidad de Madrid, s.f.) (EPA, 2017a).

Los límites marcados por la normativa europea para estos metales pesados son  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el plomo,  $20 \text{ ng}/\text{m}^3$  para el níquel,  $6 \text{ ng}/\text{m}^3$  para el arsénico y  $5 \text{ ng}/\text{m}^3$  para el Cadmio (EUR-Lex, 2008). En la ciudad de Madrid, la concentración de estos contaminantes está muy por debajo de los límites establecidos por la normativa (Ayuntamiento de Madrid, 2016b).

#### *5.2.7. Ozono*

El principal contaminante secundario es el Ozono ( $\text{O}_3$ ). El ozono estratosférico, que se encuentra entre 15 y 50km en la atmósfera superior, es beneficioso pues protege de los efectos nocivos del Sol. Sin embargo, el ozono troposférico, que se encuentra en la parte baja de la atmósfera, es perjudicial para la salud pues provoca irritación en los tejidos pulmonares y en las mucosas (EPA, 2017b) (Comunidad de Madrid, s.f.). El Ozono troposférico se forma principalmente por las reacciones químicas producidas con el  $\text{NO}_x$  y COVs. Los niveles de Ozono aumentan principalmente en días de altas temperaturas, pues el  $\text{NO}_2$  expuesto a la luz ultravioleta genera  $\text{NO}$  y  $\text{O}$ , que rápidamente reacciona con las partículas de  $\text{O}_2$  generando  $\text{O}_3$  (Flores Rodríguez, 1997).

Los límites establecidos por la normativa europea en lo relativo al Ozono es de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  media octohoraria máxima en un día y  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como valor medio de 1 hora (EUR-Lex, 2008). La OMS establece un valor de referencia más estricto que el fijado por la legislación europea, y en este caso recomienda no sobrepasar los  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para períodos de ocho horas (OMS, 2016). Analizando los valores anuales de Madrid, en ningún momento se superan los valores límites establecidos por la normativa europea. Sin embargo, si se superan en varias ocasiones los umbrales establecidos por la OMS. Además, la concentración de este contaminante se ha visto incrementada en los últimos 10 años (Ayuntamiento de Madrid, 2016b) como consecuencia de los altos niveles de  $\text{NO}_2$  combinados con el aumento de la temperatura media de la ciudad.

### **5.3. Soluciones para la reducción de la contaminación: Tejados verdes**

Las ciudades actuales cuentan con una gran superficie construida, con edificios de viviendas, edificios públicos o edificios de oficinas y empresas privadas. Estas áreas están infrautilizadas, pues en muchas ocasiones las azoteas se encuentran vacías o con cobertura de gravilla. Los tejados verdes forman parte de la iniciativa de cubrir las azoteas con vegetación, haciendo que estas cubiertas sean más sostenibles, apoyando la gestión de agua y la biodiversidad, a la vez que se

mejora el aislamiento térmico de los edificios y la calidad del aire. Estos tejados se consideran una buena solución para reducir las islas de calor que se producen en las ciudades, pues en áreas de Madrid en las que se han implementado estas estrategias se ha observado una reducción de la temperatura de hasta 4,5°C durante el verano (Ayuntamiento de Madrid, 2016c). Esto se debe a la evotranspiración que se produce en las coberturas vegetales ya que las plantas absorben el agua cuando hay lluvias o se realiza el riego, y esta agua vuelve a la atmosfera al evaporarse de la superficie de la planta (EPA, 2008). Además, la vegetación absorbe el calor y los rayos ultravioleta, enfriando el ambiente (Santamouris, 2012) (Gaffin, y otros, 2006). Del mismo modo, esta cobertura actúa como aislante térmico, lo que produce una disminución de la demanda energética en los meses de altas temperaturas de hasta un 14% (Ayuntamiento de Madrid, 2016c) y de un 25% en los picos de temperatura (Saiz, Kennedy, Bass, & Pressnail, 2006), así como una disminución de la demanda energética en invierno por el consumo de calefacción al reducir las pérdidas de calor (Bau-Show, Chin-Chung, Ai-Tsen, & Yann-Jou, 2013) (Zinzi & Agnoli, 2012) (Castletona, Stovinb, Beckc, & Davisonb, 2010).

Aunque en Madrid en la actualidad no haya grandes riesgos de inundaciones, los datos observados anteriormente y diversos estudios confirman que, debido al cambio climático, en Madrid va a haber un aumento de tormentas fuertes que pueden provocar inundaciones. Según los datos obtenidos por el Ayuntamiento de Madrid, una de las últimas tormentas fuertes producida en junio de 2015 causó dos víctimas mortales y supuso un coste de aproximadamente 10 millones de Euros. La cobertura verde de los edificios permite ralentizar la cantidad de agua que acaba en el alcantarillado por minuto, ya que la tierra absorbe parte de esa agua y lo filtra, de manera que el agua de los tejados cae mucho más lentamente a la calle y al alcantarillado y evita que se produzcan inundaciones (Ayuntamiento de Madrid, 2016c). Este punto es especialmente importante en el barrio estudiado pues según el Análisis de la Vulnerabilidad por el Cambio Climático realizado por el ayuntamiento de Madrid, el distrito de Fuencarral-El Pardo en el que se encuentra este barrio tiene una vulnerabilidad media-alta ante problemas relacionados con las inundaciones (Tapia, et al., 2015). En el Anexo IV. se puede ver documentación gráfica sobre las inundaciones en el Barrio de Peñagrande.

En cuanto a la relación de los tejados verdes con la contaminación, estudios calculan que 93m<sup>2</sup> de superficie verde pueden llegar a reducir alrededor de 18,14 Kg de partículas en suspensión al año (EPA, 2008), así como los niveles de plomo y zinc (Gregoire & Clausen, 2011). También reducen los niveles de monóxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, estos últimos causantes de los altos niveles de contaminación en Madrid. Por otra parte, al reducir el impacto de las islas de calor, los niveles de Ozono también disminuyen, pues el Ozono se produce cuando las temperaturas son muy altas y hay presencia de NO<sub>2</sub> en el aire (Bates, Greswell, Mackay, Donovan, & Sadler, 2006). Del mismo modo, un estudio realizado en Singapur ha visto reducida la cantidad de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y ácido nitroso (HNO<sub>2</sub>) sobre el área en el que se había construido un tejado verde de 4017m<sup>2</sup> en un 37% y un 21% respectivamente (Yok Tan & Sia, 2005). Además, una lluvia acida cuyo pH se encuentra entre 5 y 6 puede verse aumentado a 7 u 8 con este tipo de tejados (Li & Yeung, 2014)

Los tejados verdes se componen de las siguientes capas: el tejado tradicional, una membrana impermeable con un repelente de raíces, una capa de drenaje con almacenaje de agua, un filtro de tela para mantener el compuesto mineral con el agregado ligero que puede no contener tierra, y las plantas que normalmente son seleccionadas dependiendo del uso del tejado y del clima (Peck & Kuhn, 2003) (EPA, 2008).

### *5.3.1. Extensivos*

Este tipo de tejados están especialmente recomendados para aquellas azoteas que actualmente se encuentran cubiertas con gravilla, pues al no existir apenas diferencias en el peso no hay necesidad de hacer un refuerzo estructural. La profundidad de este tipo de tejados suele encontrarse entre los 5 a 15cm. Si se cubre el tejado con una mezcla minerales, grava, ladrillo triturado, leca, turba, materia orgánica y un poco de tierra, el compuesto pesará entre 72,6-169,4Kg por metro cuadrado, que es aproximadamente lo que pesa el tejado de gravilla convencional, que suele estar entre los 90-150Kg/m<sup>2</sup> (Castletona, Stovinb, Beckc, & Davisonb, 2010). Con una composición del 75% de agregado ligero y 25% de materia orgánica la profundidad del tejado se mantiene siempre igual y hace que sea un buen sistema de retención de agua de lluvia (Weiler & Scholz-Barth, 2011) (Peck & Kuhn, 2003). Este tipo de tejados no son recreativos y suelen tener el acceso restringido. El tipo de vegetación consiste en herbáceas o sedum que requieren poco mantenimiento, ya que solo se necesita alrededor de una o dos visitas al año para eliminar malas hierbas, controlar insectos que puedan dañar la vegetación y realizar inspecciones de las membranas para prevenir roturas. En este tipo de tejados no siempre se necesita la instalación de riego o se usa muy poco (Berardi, GhaffarianHoseini, & GhaffarianHoseini, 2014) (Conservation Technology, 2008).

Según algunos estudios, este tipo de tejados pueden retener aproximadamente el 40%-50% del agua de lluvia, lo que reduce el riesgo de inundaciones (Conservation Technology, 2008) (Peck & Kuhn, 2003). Además, según un estudio realizado sobre los tejados verdes de Chicago, estos tejados pueden llegar a reducir la contaminación de la siguiente manera: 0,65g por m<sup>2</sup> anuales de SO<sub>2</sub>, 2,33g por m<sup>2</sup> anuales de NO<sub>2</sub>, 1,12g por m<sup>2</sup> anuales de PM<sub>10</sub> y 4,49g por m<sup>2</sup> anuales de O<sub>3</sub> (Yang, Qian, & Gong, 2008).

Según los proyectos realizados en Madrid de tejados verdes extensivos, la reducción de la necesidad energética de calefacción es de un 27%, mientras que la reducción en aire acondicionado es del 75% (Ayuntamiento de Madrid, 2014b). El gasto medio anual por hogar en calefacción en la zona continental es de 6.982,56kWh y en aire acondicionado es de 94,523 kWh (IDAE, 2011). Esto supone un ahorro energético anual de 1.605,99 kWh en calefacción y 70,89 kWh en aire acondicionado por vivienda. Basándome en los precios de la factura de Iberdrola en la que la calefacción tiene un precio de 0,057028€/kWh más 0,00234€/kWh en impuestos, y en la que la electricidad tiene un precio de 0,118062€/kWh más el 5,1126932% en impuesto sobre la electricidad, cada vivienda podría ahorrar 95,34€ en calefacción y 8,79€ en electricidad. Además, este tipo de tejados, cuando tienen un espesor entre las plantas y la tierra de unos 12cm, actúa como aislante del sonido, llegando a reducir el ruido en unos 40dB (Peck, Callaghan, Kuhn, & Bass, 1999).

### 5.3.2. Intensivos

Este tipo de tejados suelen tener un objetivo más recreativo y son mucho más grandes en cuanto al tipo de plantas e incluso mobiliario usado. A diferencia de los tejados extensivos, el compuesto que se utiliza para plantar la vegetación suele estar compuesto principalmente de tierra. Habitualmente estos tejados tienen profundidad de aproximadamente 20-60cm por lo que el peso aumenta a aproximadamente 290-967,7 Kg/m<sup>2</sup>. Estos jardines contienen una mayor variedad de plantas e incluso árboles, por lo que también tiene un ecosistema más complejo. Además, es necesario un mayor mantenimiento, necesita la instalación de un riego automático y se recomienda hacer un estudio estructural para evitar problemas de grietas y daño del edificio debido al peso (Weiler & Scholz-Barth, 2011) (Peck & Kuhn, 2003). Según los estudios, este tipo de tejados pueden retener entre el 70% y el 100% del agua de lluvia, dependiendo de la composición del tejado (Berardi, GhaffarianHoseini, & GhaffarianHoseini, 2014) (Conservation Technology, 2008). Debido al grosor de la tierra, este tipo de tejados trabaja como aislante de sonido, reduciendo el ruido en 50dB (Peck, Callaghan, Kuhn, & Bass, 1999), y como un gran aislante térmico, reduciendo el efecto de la isla de calor urbana y, sobre todo, reduciendo la transferencia de calor. Al tener una vegetación más densa, incluyendo árboles, los rayos ultravioletas del sol son absorbidos por las hojas usándolos para la fotosíntesis y el resto es reflejado. Además, el árbol proporciona una gran sombra que hace que la superficie tenga una temperatura mucho menor, reduciendo la temperatura de la superficie entre 11°C y 25°C (EPA, 2008). Según algunos estudios, se ha observado que la superficie en invierno de este tipo de tejados nunca baja de 0°C, aunque en el exterior pueda llegar a haber -20°C (Peck & Kuhn, 2003).

En relación a la contaminación, según un estudio realizado sobre los tejados verdes de Chicago, la vegetación que se utiliza en este tipo de tejados puede absorber la contaminación del aire según se muestra en la tabla 2, dependiendo de la vegetación que se utilice.

Tabla 2. Absorción de contaminación anual por tipo de planta por metro cuadrado.

Tipo de vegetación	SO <sub>2</sub> g/m <sup>2</sup>	NO <sub>2</sub> g/m <sup>2</sup>	PM <sub>10</sub> g/m <sup>2</sup>	O <sub>3</sub> g/m <sup>2</sup>
Hierbas bajas / sedum	0,65	2,33	1,12	4,49
Hierbas altas	0,83	2,94	1,52	5,81
Árboles	1,01	3,57	2,16	7,17

Fuente: (Yang, Qian, & Gong, 2008).

### 5.4. Comparación entre tejados extensivos e intensivos

En la tabla 3 se presenta una comparación de las diferentes características de los dos tipos de tejados acorde a la información obtenida en la revisión de la literatura.

Tabla 3. Comparativa entre las principales características de los tejados extensivos e intensivos

Características	Tradicional de gravilla	Extensivo	Intensivo
Profundidad	4cm	5 a 15cm	20-60cm
Tipo de vegetación	Nula	Sedum y herbáceas bajas	Cualquier tipo de planta: Sedum, herbáceas bajas y altas, plantas, árboles...
Costes de instalación en España por m <sup>2</sup>	15	86,06 – 96,23 <sup>1</sup>	124,98 – 155,21 <sup>2</sup>
Peso	90-150Kg/m <sup>2</sup>	72,6-169,4Kg/m <sup>2</sup>	290-967,7 Kg/m <sup>2</sup>
Mantenimiento	Anual	Bianual <sup>3</sup>	Semanal <sup>4</sup>
Costes de mantenimiento en los primeros 10 años por m <sup>2</sup>	5,8€	27,11€ - 28,78€	105,86€
Riego	No aplica	Nulo o casi nulo	Instalación de riego o servicio de jardinería varias veces por semana
Refuerzo estructural	Innecesario	Innecesario o casi innecesario	Necesario
Aislamiento térmico	Nulo	Muy efectivo	Muy efectivo
Aislamiento acústico	Nulo	40dB	50dB
Reducción anual de contaminación por NO <sub>2</sub> (g/m <sup>2</sup> )	0	2,33	2,33 - 3,57
Reducción anual de contaminación por SO <sub>2</sub> (g/m <sup>2</sup> )	0	0,65	0,65 - 1,01
Reducción anual de contaminación por O <sub>3</sub> (g/m <sup>2</sup> )	0	4,49	4,49 - 7,17
Reducción anual de contaminación por PM <sub>10</sub> (g/m <sup>2</sup> )	0	1,12	1,12 - 2,16
Retención de agua de lluvia	0%	40%-50%	70% - 100%
Ahorro en electricidad kW/h por m <sup>2</sup>	0	75%	No disponible
Ahorro en calefacción kW/h por m <sup>2</sup>	0	27%	No disponible
Ecosistema	Nulo o casi nulo	Simple	Complejo

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en la revisión de la literatura

<sup>1</sup> Obtenidos de proyectos realizados en Madrid (CYPE Ingenieros, 2017)

<sup>2</sup> Ídem

<sup>3</sup> Ídem

<sup>4</sup> Ídem

## 5.5. Ventajas y desventajas

En la Tabla 4. se puede observar una comparativa de las ventajas de instalar tejados verdes en comparación con la instalación de tejados convencionales realizado a partir de la revisión de la literatura.

Tabla 4. Comparación de ventajas y desventajas de tejados verdes con respecto a tejados convencionales

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Vida útil más larga	Mayores costes de instalación
Ahorro energético de refrigeración	Mayores costes de mantenimiento
Ahorro energético en calefacción	
Aislamiento térmico	
Aislamiento acústico	
Protección de los rayos ultravioleta	
Retención del agua de lluvia reduciendo inundaciones	
Depuración de agua de lluvia	
Reducción de la temperatura ambiental	
Absorción de Gases de Efecto Invernadero y de Partículas	
Estímulo de la biodiversidad	
Agradable a la vista	
Mejora la calidad de vida	

Fuente: Elaboración propia

## 5.6. Medidas y proyectos para promover los tejados verdes

### 5.6.1. Medidas y proyectos realizados en Europa

Aunque los tejados verdes se están instalando en todo el mundo como una forma de recuperar la vegetación perdida por las construcciones y el desarrollo urbano, Europa es el continente donde más tiempo se lleva implementando. Concretamente, Alemania se considera el país promotor en implantar tejados verdes pues sus ciudades comenzaron a instalar este tipo de tejados a principios de los años 70, aunque en la misma década comenzaron a ganar popularidad también en Suiza y Francia. Actualmente, Alemania es el país líder en tejados verdes, ya que el 10% de las casas tienen este tipo de tejado (Li & Yeung, 2014). Algunos de los proyectos implantados se pueden encontrar, por ejemplo, en Munich, donde todos los tejados planos que tengan una superficie superior a 100m<sup>2</sup> deben instalar infraestructura verde (Brudermann & Sangkakool, 2017). Otro ejemplo alemán es el de la ciudad de Esslingen, que proporciona un subsidio del 50% de los costes de los tejados verdes, o la ciudad de Darmstadt, que proporciona hasta 5.000€ a los dueños de los edificios para financiar parte de los costes de la instalación de tejados verdes (Getter & Rowe, 2006).



En el resto de Europa se pueden encontrar ejemplos en muchos países, como los ejemplos que se describen a continuación desarrollados en Suiza, Francia, Dinamarca, Austria y España.

En Basilea, Suiza, el estado subvenciona a los usuarios con el 20% de los costes de instalación de los tejados verdes (Berardi, GhaffarianHoseini, & GhaffarianHoseini, 2014).

En Francia se ha aprobado una ley en la que los nuevos edificios en zonas comerciales deben estar cubiertos parcialmente por vegetación o por paneles solares (Agence France-Presse, 2015).

Dinamarca también está promoviendo la instalación de tejados verdes, pues la capital, Copenhague, exige la instalación de infraestructura verde a todas las nuevas construcciones que tengan un tejado con una inclinación inferior a 30º (Berardi, GhaffarianHoseini, & GhaffarianHoseini, 2014).

Del mismo modo, en Viena se financia hasta 2.200€ por proyecto que tenga como objetivo la instalación de tejados verdes, lo que ha promovido la instalación de 16.000m<sup>2</sup> de tejados verdes en la ciudad, con una inversión por parte de la ciudad de 150.000€ (NWRM, 2015).

Un estudio en Lleida, España, analizó el comportamiento térmico de dos cubículos, uno con cobertura verde y el otro sin ella. Para realizar el estudio midieron la temperatura de la pared, la temperatura ambiente interior, la humedad del aire interior, el flujo de calor en la pared sur interior y exterior, la radiación solar, la temperatura ambiente exterior y la velocidad del viento. El cubículo con cubierta vegetal obtuvo una humedad interior más elevada y una menor temperatura interior de alrededor de 3ºC (Pérez, Vila, Castell, & Cabeza, 2010).

#### *5.6.2. Proyectos realizados en América del Norte*

Los tejados verdes empezaron a tener gran importancia en América del Norte como medida para luchar contra el cambio climático más tarde que en Europa y es por esto que todavía es más caro desarrollar este tipo de proyectos que en Europa (Berghage, y otros, 2007). Sin embargo, en los últimos años se han desarrollado una gran variedad de proyectos e iniciativas tanto en EEUU como en Canadá para promover este tipo de medidas contra el cambio climático (Berardi, GhaffarianHoseini, & GhaffarianHoseini, 2014).

En Toronto, Canadá, existe una regulación que obliga a instalar un tejado verde en todas las nuevas construcciones que tengan una superficie mayor a 2.000m<sup>2</sup>. Dependiendo del tamaño y del tipo de edificación, es obligatorio cubrir entre el 20% y el 60% del espacio libre del tejado (City of Toronto, 2011).

En Vancouver, todas las nuevas construcciones destinadas a ser áreas comerciales o industriales con una superficie mayor a 5.000m<sup>2</sup> deben instalar un tejado verde. Al instalarlo el dueño estará exento de pagar las tasas de construcción.

En Chicago, Illinois, el ayuntamiento ofrece cubrir el 50% de los costes de desarrollo de tejados verdes que cubran al menos el 50% del espacio libre hasta un tope de \$100.000.

En Milwaukee, Wisconsin, como incentivo para aumentar la cantidad de tejados verdes de la ciudad, se proporcionan \$5 por cada pie cuadrado (\$16,40 por m<sup>2</sup>) de tejado verde que se construya.

En Minneapolis, Minnesota, cualquier edificio que mejore su sistema de gestión de agua de lluvia por medio de tejados verdes recibe una reducción en las tasas de gestión de agua de un total del 50%.

En Nashville, Tennessee, se promueve la creación de tejados verdes proporcionando una reducción en el pago de las tasas del alcantarillado, recibiendo un descuento de \$10 por cada pie cuadrado de tejado verde (\$32,81 por m<sup>2</sup>).

En la ciudad de Nueva York, Nueva York, se proporciona un crédito de un año en impuestos de \$4,5 por pie cuadrado (\$14,76 por m<sup>2</sup>) hasta un total de \$100.000 para aquellos edificios cuyo tejado tenga cubierto al menos un 50% del tejado con infraestructura verde.

En Philadelphia, Pensilvania, se proporciona un crédito para cubrir los impuestos denominados "Business Privilege Tax" de hasta un 25% de todos los costes que genere la construcción de un tejado verde hasta un máximo de \$100.000.

En Portland, Oregon, y Washington D.C. se reembolsa hasta \$5 por pie cuadrado (\$16,40 por m<sup>2</sup>) por construir tejados verdes para gestionar el agua de lluvia (Berardi, GhaffarianHoseini, & GhaffarianHoseini, 2014).

Revisando la literatura también se pueden encontrar trabajos en los que se han cuantificado algunos de los beneficios obtenidos por este tipo de tejados, realizando diversos estudios sobre la efectividad de los tejados verdes que ya se han implementado. Por ejemplo, en Chicago se realizó un estudio sobre el ahorro que supone la cobertura verde instalada en el tejado del Ayuntamiento al año. Los resultados obtenidos muestran un ahorro de aproximadamente 9.270kW/h en aire acondicionado y 21.6872,59kW/h en calefacción, generando unos ahorros anuales de \$3.600 (EPA, 2008). Además, los tejados existentes en la ciudad de Chicago pueden llegar a reducir la concentración de contaminantes en 0,65g por m<sup>2</sup> anuales de SO<sub>2</sub>, 2,33g por m<sup>2</sup> anuales de NO<sub>2</sub>, 1,12g por m<sup>2</sup> anuales de PM<sub>10</sub> y 4,49g por m<sup>2</sup> anuales de O<sub>3</sub> (Yang, Qian, & Gong, 2008). Otro estudio comparó la temperatura de un tejado convencional y un tejado verde en un día de verano normal, con una temperatura ambiental de 32°C. La superficie con cobertura verde variaba entre 33°C y 48°C mientras que un tejado convencional llegaba a los 76°C. Además, el aire que se encontraba cerca de la superficie era 4°C más frío en el techo con cobertura verde que en el techo convencional, lo que mostró que este tipo de superficie es muy eficaz en Chicago para la reducción del efecto de isla de calor urbano (EPA, 2008).

En un centro comercial de 2.980m<sup>2</sup> en Toronto, Canadá, se estimó unos ahorros del 10% en calefacción y un 6% en aire acondicionado, lo que suponía un ahorro anual de 21.000kW/h (EPA, 2008).

También se realizó un estudio en el centro de Florida, midiendo el flujo de calor en verano y en invierno de un tejado con cobertura verde y otro con techo convencional pintado con color blanco. Los resultados mostraron que el tejado verde es más eficiente que el tejado de color blanco. En verano el flujo de calor era 40% menor en el tejado con cobertura verde que en un tejado convencional, y en invierno era un 50% menor en el tejado con cobertura verde que en el convencional (EPA, 2008). Un estudio similar también realizado en Florida realizó una medición del calor de la superficie de un tejado verde frente a una de color claro. Los resultados mostraron que la superficie de un tejado verde tenía una temperatura de 30°C mientras que la adyacente pintada con color claro era de 57°C (EPA, 2008). La diferencia en la efectividad de un tejado verde sobre un

tejado blanco tiene una sencilla explicación, ya que es muy complicado mantener los niveles de limpieza adecuados para que la superficie blanca de una azotea se mantenga lo suficientemente limpia para reflejar el sol tanto como lo hace un tejado verde (Getter & Rowe, 2006).

### *5.6.3. Proyectos realizados en Asia*

En Tokio, Japón, se ha implantado una legislación que exige que, aquellos edificios privados con superficies libres de 1.000m<sup>2</sup> y aquellos edificios públicos con superficie libre mayor a 250m<sup>2</sup>, deben instalar un tejado verde que cubra al menos el 20% de la superficie libre (Berardi, GhaffarianHoseini, & GhaffarianHoseini, 2014).

El proyecto “Forest City”, en China, es un proyecto ya aprobado en el municipio de Liuzhou, y se comenzará a construir en 2020. Se espera que esta ciudad de 138,4Ha tenga alrededor de 70 edificios, contando viviendas, hospitales, hoteles, colegios, oficinas, etc. cubiertos por 40.000 árboles y casi un millón de plantas. Se espera que la ciudad absorba 10.000 toneladas de CO<sub>2</sub> y 57 toneladas de otros contaminantes cada año. Además, se utilizarán paneles solares para proporcionar energía a los edificios y energía geotérmica para el aire acondicionado (Alleyne, 2017).

### **5.7. Medidas similares implantadas en la Ciudad de Madrid**

Según el Plan Madrid + Natural, existe un proyecto de rehabilitación de 10 azoteas municipales en el que se incluye la instalación de aislante y color blanco para reflejar la luz, una cubierta vegetal de bajo mantenimiento (herbáceas) y una cubierta vegetal de tipo hortícolas y ornamentales. Este proyecto tiene un presupuesto de 500.000€ a liquidar en tres años (Ayuntamiento de Madrid, Noviembre 2016, págs. 5-8).

Una medida que se ha implantado en la Ciudad de Madrid para ayudar a las viviendas a mejorar la eficiencia energética es el Plan MAD-RE (BOCM, 2017). Este plan permite a aquellas comunidades de propietarios o propietarios de viviendas unifamiliares que deseen mejorar la eficiencia energética de su edificio con, por ejemplo, cubiertas verdes, recibir una financiación del 60% hasta un total de 8.000€ por vivienda. La comunidad de vecinos solo necesita presentar el acuerdo de la comunidad de propietarios, 3 presupuestos de las obras para el concurso público, la solicitud de licencia y el proyecto de obras, la solicitud de ayuda y el Informe de Evaluación del Edificio en el que se establece la calificación energética del edificio. Desafortunadamente esta medida solo cubre a aquellas construcciones con más de 25 años de antigüedad, por lo que las áreas nuevas no quedan subvencionadas.

Otros ejemplos en los que se ha utilizado una cubierta vegetal en el tejado son el Hotel Wellington y la Sede del Banco Santander. En la azotea del Hotel Wellington se ha construido uno de los mayores huertos urbanos con un total de 300m<sup>2</sup> (Miranda, 2014). La sede del Banco Santander, en Boadilla del Monte es el techo verde más grande de Europa con un total de 100.000m<sup>2</sup> de zona verde construido entre el 2003 y el 2005 (López Letón, 2016).



- El edificio F es un poco más grande con una superficie de unos 1.800m<sup>2</sup> y cuenta con 5 bloques de viviendas. En este caso vamos a considerar aproximadamente una superficie construible de 1.200m<sup>2</sup>
- El Edificio G cuenta con una superficie de unos 900m<sup>2</sup> y se puede calcular una superficie libre de aproximadamente 400m<sup>2</sup>.
- El edificio H cuenta con alrededor de 1000m<sup>2</sup> con una superficie edificable de unos 600m<sup>2</sup>.
- Los edificios I y J cuentan con una superficie de aproximadamente 600m<sup>2</sup> cada uno, de los cuales se podrá construir alrededor de 180m<sup>2</sup> y 400m<sup>2</sup> respectivamente.
- El edificio K cuenta con pequeñas parcelas libres que en total podrían considerarse unos 300m<sup>2</sup> libres.
- El edificio L es un Centro de Salud Público que cuenta con una superficie de 680m<sup>2</sup>, de los cuales se podrían cubrir con revestimiento verde unos 500m<sup>2</sup>.
- Finalmente, el edificio M es una Escuela Educación Infantil Municipal que cuenta con una superficie de unos 600m<sup>2</sup>, de los cuales se podría cubrir con infraestructura verde unos 400m<sup>2</sup>.

En total, se construiría una superficie verde de 8.030m<sup>2</sup>.

Teniendo en cuenta el consumo anual por vivienda en la ciudad de Madrid es de 120kW/m<sup>2</sup>, podríamos hacer un cálculo de la cantidad de consumo de calefacción que se podría ahorrar suponiendo que las casas beneficiadas del aislamiento térmico de la cobertura verde son las de los cuatro pisos superiores, como se ha mostrado en un proyecto realizado en Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2014b).

### **6.1. No hacer nada**

En todo proyecto se debe valorar la opción de no hacer nada. En este caso, la opción de no implantar tejados verdes en las azoteas libres del Barrio de Peñagrande supone mantener la ineficiencia energética de los edificios, así como mantener un alto riesgo de inundaciones al no haber una solución para paliar los efectos de las lluvias intensas que se prevén con el cambio climático. Del mismo modo, al no ampliar los espacios verdes y aumentando la cantidad de superficie construida con los nuevos edificios de viviendas y el GoFit, no solo no se paliará la temperatura de las llamadas islas de calor, sino que es posible que la temperatura aumente.

## 6.2. Implantación de tejados verdes extensivos

Tabla 5. Costes y beneficios económicos y ambientales de una cubierta vegetal extensiva

Edificio	M <sup>2</sup>	Reducción anual de NO <sub>2</sub> (gr)	Reducción anual de SO <sub>2</sub> (gr)	Reducción anual de PM <sub>10</sub> (gr)	Reducción anual de O <sub>3</sub> (gr)	Ahorro mínimo anual en calefacción (kW/h)	Ahorro mínimo anual en calefacción (€)	Ahorro mínimo anual en aire acondicionado (kW/h)	Ahorro mínimo anual en aire acondicionado (€)	Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> indirectas por aire acondicionado (Kg)	Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> indirectas por calefacción (Kg)	Coste medio de instalación (€)	Peso medio (Kg)	Coste medio de mantenimiento cada 10 años (€)
A	1000	2330	650	1120	4490	46800	2.778,42 €	2372,062	294,37 €	355,8093	9771,84	91.145,00 €	121000	27.945,00 €
B	450	1048,5	292,5	504	2020,5	21060	1.250,29 €	1067,4279	132,47 €	160,114185	4397,328	41.015,25 €	54450	12.575,25 €
C	600	1398	390	672	2694	28080	1.667,05 €	1423,2372	176,62 €	213,48558	5863,104	54.687,00 €	72600	16.767,00 €
D	1000	2330	650	1120	4490	46800	2.778,42 €	2372,062	294,37 €	355,8093	9771,84	91.145,00 €	121000	27.945,00 €
E	1000	2330	650	1120	4490	46800	2.778,42 €	2372,062	294,37 €	355,8093	9771,84	91.145,00 €	121000	27.945,00 €
F	1200	2796	780	1344	5388	56160	3.334,11 €	2846,4744	353,24 €	426,97116	11726,208	109.374,00 €	145200	33.534,00 €
G	400	932	260	448	1796	18720	1.111,37 €	948,8248	117,75 €	142,32372	3908,736	36.458,00 €	48400	11.178,00 €
H	600	1398	390	672	2694	28080	1.667,05 €	1423,2372	176,62 €	213,48558	5863,104	54.687,00 €	72600	16.767,00 €
I	180	419,4	117	201,6	808,2	8424	500,12 €	426,97116	52,99 €	64,045674	1758,9312	16.406,10 €	21780	5.030,10 €
J	400	932	260	448	1796	18720	1.111,37 €	948,8248	117,75 €	142,32372	3908,736	36.458,00 €	48400	11.178,00 €
K	300	699	195	336	1347	14040	833,53 €	711,6186	88,31 €	106,74279	2931,552	27.343,50 €	36300	8.383,50 €
L	500	1165	325	560	2245	23400	1.389,21 €	1186,031	147,18 €	177,90465	4885,92	45.572,50 €	60500	13.972,50 €
M	400	932	260	448	1796	18720	1.111,37 €	948,8248	117,75 €	142,32372	3908,736	36.458,00 €	48400	11.178,00 €
<b>Total</b>	<b>8030</b>	<b>18709,9</b>	<b>5219,5</b>	<b>8993,6</b>	<b>36054,7</b>	<b>375804</b>	<b>22.310,73 €</b>	<b>19047,6579</b>	<b>2.363,78 €</b>	<b>2857,14868</b>	<b>78467,8752</b>	<b>731.894,35€</b>	<b>971630</b>	<b>224.398,35 €</b>

Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos en la tabla 5, la implantación de este proyecto con cubierta vegetal extensiva tendría un coste medio de instalación en total, incluyendo los 12 edificios, de 731.894,35€. De estos, corresponderían a edificios de viviendas 649.863,85€, al edificio que corresponde al Centro de Salud corresponderían 45.572,5€ y a la escuela infantil 36.458,00€. Esta cobertura reduciría los gastos en calefacción y electricidad en, mínimo, 24.674,51€ anuales y unos gastos de mantenimiento anuales de 22.439,84€, lo que produciría unos beneficios económicos anuales de 2.234,67€. Este dato es muy conservador pues solo se está teniendo en cuenta la reducción de la necesidad energética con los datos obtenidos en un proyecto desarrollado en Madrid en el que solo se cubría el 16% de la azotea cuando en este proyecto en casi todos los casos se cubre más del 60% (Ayuntamiento de Madrid, 2014b). En cuanto a los beneficios ambientales, se absorberían 18,71Kg de NO<sub>2</sub>, 5,22Kg de SO<sub>2</sub>, 8,99Kg de PM<sub>10</sub> y 36,06Kg de O<sub>3</sub>. De manera indirecta, con este proyecto se reducirían las emisiones de CO<sub>2</sub> al reducir el consumo de electricidad y gas natural en 81,33 toneladas. Además, este tipo de tejados retiene entre el 40% y el 50% de la lluvia.

### 6.3. Implantación de tejados verdes intensivos

Teniendo en cuenta que los edificios del Barrio de Peñagrande son edificios altos con una gran cantidad de viviendas, el coste por vecino es mucho más reducido, lo que hace mucho más factible la implementación de esta medida. Sin embargo, al ser tipos de tejados muy pesados se debe realizar previamente un estudio para conocer si la estructura del edificio es capaz de aguantar el peso del nuevo tejado o es necesario realizar un refuerzo y reestructuración del tejado.

Tabla 6. Costes y beneficios económicos y ambientales de una cubierta vegetal intensiva

Edificio	M <sup>2</sup>	Reducción anual de NO <sub>2</sub> (gr)	Reducción anual de SO <sub>2</sub> (gr)	Reducción anual de PM <sub>10</sub> (gr)	Reducción anual de O <sub>3</sub> (gr)	Ahorro mínimo anual en calefacción (kW/h)	Ahorro mínimo anual en calefacción (€)	Ahorro mínimo anual en aire acondicionado (kW/h)	Ahorro mínimo anual en aire acondicionado (€)	Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> indirectas por aire acondicionado (Kg)	Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> indirectas por calefacción (Kg)	Coste medio de instalación (€)	Peso medio (Kg)	Coste medio de mantenimiento cada 10 años (€)
A	1000	2950	830	1640	5830	46800	2.778,42 €	2372,062	294,37 €	355,8093	9771,84	140.095,00 €	628850	105.860,00 €
B	450	1327,5	373,5	738	2623,5	21060	1.250,29 €	1067,4279	132,47 €	160,114185	4397,328	63.042,75 €	282982,5	47.637,00 €
C	600	1770	498	984	3498	28080	1.667,05 €	1423,2372	176,62 €	213,48558	5863,104	84.057,00 €	377310	63.516,00 €
D	1000	2950	830	1640	5830	46800	2.778,42 €	2372,062	294,37 €	355,8093	9771,84	140.095,00 €	628850	105.860,00 €
E	1000	2950	830	1640	5830	46800	2.778,42 €	2372,062	294,37 €	355,8093	9771,84	140.095,00 €	628850	105.860,00 €
F	1200	3540	996	1968	6996	56160	3.334,11 €	2846,4744	353,24 €	426,97116	11726,208	168.114,00 €	754620	127.032,00 €
G	400	1180	332	656	2332	18720	1.111,37 €	948,8248	117,75 €	142,32372	3908,736	56.038,00 €	251540	42.344,00 €
H	600	1770	498	984	3498	28080	1.667,05 €	1423,2372	176,62 €	213,48558	5863,104	84.057,00 €	377310	63.516,00 €
I	180	531	149,4	295,2	1049,4	8424	500,12 €	426,97116	52,99 €	64,045674	1758,9312	25.217,10 €	113193	19.054,80 €
J	400	1180	332	656	2332	18720	1.111,37 €	948,8248	117,75 €	142,32372	3908,736	56.038,00 €	251540	42.344,00 €
K	300	885	249	492	1749	14040	833,53 €	711,6186	88,31 €	106,74279	2931,552	42.028,50 €	188655	31.758,00 €
L	500	1475	415	820	2915	23400	1.389,21 €	1186,031	147,18 €	177,90465	4885,92	70.047,50 €	314425	52.930,00 €
M	400	1180	332	656	2332	18720	1.111,37 €	948,8248	117,75 €	142,32372	3908,736	56.038,00 €	251540	42.344,00 €
Total	8030	23688,5	6664,9	13169,2	46814,9	375804	22.310,73 €	19047,6579	2.363,78 €	2857,14868	78467,8752	1.124.962,85 €	5049665,5	850.055,80 €

Fuente: Elaboración propia



Según los datos obtenidos en la tabla 6, la implantación de este proyecto con cubierta vegetal intensiva tendría un coste medio de instalación en total, incluyendo los 12 edificios, de 1.124.962,85€. De estos, corresponderían a edificios de viviendas 998.877,35€, al edificio que corresponde al Centro de Salud corresponderían 70.047,50€ y a la escuela infantil 56.038,00€. Esta cobertura reduciría los gastos en calefacción y electricidad en, mínimo, 24.674,51€ anuales y unos gastos de mantenimiento anuales de 85.055,80€. Este dato es muy conservador pues no se tienen datos de la reducción energética de un tejado intensivo, por lo que solo se pueden calcular los beneficios teniendo en cuenta los datos de tejados extensivos de un proyecto desarrollado en Madrid en el que solo se cubría el 16% de la azotea de manera extensiva, cuando en este proyecto en casi todos los casos se cubre más del 60% con cubierta intensiva (Ayuntamiento de Madrid, 2014b). En cuanto a los beneficios ambientales, se absorberían 23,69Kg de NO<sub>2</sub>, 6,67Kg de SO<sub>2</sub>, 13,17Kg de PM<sub>10</sub> y 46,82Kg de O<sub>3</sub>. De manera indirecta, con este proyecto se reducirían las emisiones de CO<sub>2</sub> al reducir el consumo de electricidad y gas natural en un mínimo de 81,33 toneladas. Además, este tipo de tejados retiene entre el 70% y el 100% del agua de lluvia.

## 7. Valoración de alternativas

Teniendo en cuenta las necesidades estructurales de los edificios y a la falta de datos de los beneficios de aislamiento térmico que se obtienen al instalar una cobertura intensiva, la alternativa más factible es la implantación de tejados extensivos. Las azoteas de este Barrio tienen cobertura de gravilla que es muy fácil de sustituir por tejados verdes extensivos sin crear riesgos para la estructura del edificio, como aparición de grietas o fugas de agua debido a que ambos tipos de tejados tienen un peso similar. Para instalar un tejado verde intensivo, sería necesario reforzar la estructura del edificio. Además, es la opción menos costosa y de la que según los cálculos obtenidos en la tabla 5 se pueden obtener beneficios económicos anuales, además de los grandes beneficios ambientales, lo que la hace más atractiva para las comunidades de propietarios que no verán tan incrementada la factura de la comunidad. Al no requerir apenas mantenimiento, la comunidad tampoco necesitará los servicios de jardinería semanales, solo servicios de mantenimiento bianuales, por lo que los costes de mantenimiento también son menores. Aunque esta opción no es la más eficaz a la hora de reducir la contaminación, sigue siendo una opción muy efectiva y es la más factible.

## 8. Fases y actividades para la implementación del proyecto

- A. Análisis de las necesidades estructurales de cada edificio.
- B. Análisis de la integridad del aislante de los edificios.
- C. Realización del concurso público: en el caso de los edificios públicos el ayuntamiento necesita realizar los pliegos. En caso de las viviendas, tendrán que proponer tres presupuestos de tres empresas diferentes para poder obtener financiación.
- D. Selección de empresa/empresas encargadas de realizar las obras.
- E. Medición previa a la realización de las obras de temperatura de la superficie y del aire sobre la superficie, del interior de las viviendas, así como de la humedad interior y exterior. También sería preferible realizar una medición de la contaminación, pero puede usarse los medidores actuales de la ciudad para medir esta variable. Sería importante realizar esta medición durante la realización de las fases anteriores para poder tener una gran variedad de datos con los que comparar los parámetros posteriormente.
- F. Instalación de la cobertura vegetal extensiva
- G. Monitorización de las obras, controlando los tiempos e imprevistos que se puedan ocasionar.
- H. Medición posterior a la implementación de la medida elegida de los mismos parámetros a corto y medio plazo para realizar la comparación con los parámetros obtenidos anteriormente. También es importante medir la cantidad de agua capaz de retener en eventos de lluvia
- I. Mantenimiento de los tejados verdes, monitorizando por parte del Ayuntamiento para que se cumpla los mínimos de mantenimiento y proporción de financiación en caso de que sea necesario.

En el siguiente Diagrama de Gantt (Figura 13) se pueden ver la estimación de los tiempos y recursos otorgados a cada una de las partes del proyecto<sup>5</sup>. En el Anexo IV. se puede observar la tabla 8 con la dependencia de las actividades realizadas, el tiempo estimado en cada una de ellas y los recursos otorgados. Como riesgo en la fase de preparación de la documentación se ha incluido la necesidad de un refuerzo estructural, pues para este tipo de tejados no se estima que sea necesario y supondría un gasto adicional. Para la fase de instalación de la cobertura verde se estiman como riesgos la rotura de alguno de los materiales, que supondría un sobrecoste y la enfermedad de trabajadores, que supondría un retraso en la implementación.

---

<sup>5</sup> Se puede ver el trabajo realizado a través de este enlace a Google Drive:  
[https://drive.google.com/file/d/1pDAICJYLqkMOZzg-P\\_GAdos5N5dYaw\\_P/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1pDAICJYLqkMOZzg-P_GAdos5N5dYaw_P/view?usp=sharing)



## 9. Presupuesto

Basándome en los presupuestos obtenidos de proyectos realizados previamente de cobertura extensiva disponibles en internet (CYPE Ingenieros, 2017), los costes podrían ser los representados en la tabla 7.

Tabla 7. Presupuesto para un tejado extensivo no transitable

Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
	Materiales			
m <sup>2</sup>	Membrana antirraíces Urbanscape "KNAUF INSULATION", de polietileno de baja densidad, de color negro, para cubiertas ajardinadas extensivas.	1,100	3,67	4,04
m <sup>2</sup>	Lámina drenante y retenedora de agua, Urbanscape C "KNAUF INSULATION", con depósito de agua, formada por membrana de poliestireno reciclado reforzado con perforaciones en la parte superior, para cubiertas ajardinadas extensivas.	1,100	16,25	17,88
m <sup>2</sup>	Sustrato Urbanscape Green Roll (HTC GR) de lana mineral, de 40 mm de espesor, para cubiertas ajardinadas extensivas.	1,100	10,97	12,07
m <sup>2</sup>	Tepe Urbanscape Sedum-mix, para cubiertas ajardinadas extensivas.	1,100	38,02	41,82
		Subtotal materiales:		75,81
	Mano de obra			
h	Oficial 1ª jardinero.	0,258	17,24	4,45
h	Peón jardinero.	0,258	15,92	4,11
		Subtotal mano de obra:		8,56
	Costes directos complementarios			
%	Costes directos complementarios	2,000	84,37	1,69
	Coste de mantenimiento decenal: 27,11€ en los primeros 10 años.		Costes directos (1+2+3):	86,06

Fuente: (CYPE Ingenieros, 2017)

#### **10. Plan de evaluación del impacto de las medidas a adoptar**

Basándome en el proyecto realizado en Lleida para comprobar la efectividad para la reducción de la temperatura de los cubículos con cobertura verde, sería necesario realizar una medición de los siguientes indicadores antes y después de implantar la medida: la temperatura de la pared, la temperatura ambiente interior, la humedad del aire interior y la temperatura ambiente exterior.

En cuanto a la monitorización de la reducción de la contaminación, sería necesario comparar los datos actuales con los datos obtenidos en las mediciones después de implementar las coberturas verdes en los bloques de viviendas y edificios públicos seleccionados. Para eso se estima realizar un análisis de los datos obtenidos desde junio de 2017 en la estación del Barrio del Pilar durante un año. Estos datos se compararán con datos obtenidos y medidos durante un año desde junio de 2018 después de haber instalado los tejados verdes.

#### **11. Plan de seguimiento del proyecto**

Durante la implementación del proyecto se debe realizar un análisis de los posibles riesgos que puedan surgir, como pueden ser retrasos en la realización de las obras, fallos en la realización de los tejados verdes provocando fugas o errores al realizar mediciones. Se han estimado como riesgos la necesidad de un refuerzo estructural que supondría un retraso y un sobre coste, la rotura de materiales durante la instalación y enfermedad de los trabajadores. Es importante tener en cuenta estos elementos pues pueden llevar a un retraso en la implementación de las medidas. Finalmente se realizará un seguimiento del mantenimiento de los tejados verdes, así como una medición de los indicadores para comprobar a medio y largo plazo la efectividad del proyecto.

## 12. Referencias Bibliográficas

- Abraham, J. (2017). *Global warming is increasing rainfall rates* | John Abraham. Recuperado el 29 de 10 de 2017, de The Guardian: <https://www.theguardian.com/environment/climate-consensus-97-per-cent/2017/mar/22/global-warming-is-increasing-rainfall-rates>
- ACE. (2015). *Environments and Contaminants: Criteria Air Pollutants*. EPA. America's Children and the Environment. Recuperado el 2016 de Noviembre de 2017, de [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/ace3\\_criteria\\_air\\_pollutants.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/ace3_criteria_air_pollutants.pdf)
- AEMA. (2016). *Air quality in Europe — 2016 report*. Luxembourg. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016>
- Agence France-Presse. (2015). France decrees new rooftops must be covered in plants or solar panels. *The Guardian*. Obtenido de <https://www.theguardian.com/world/2015/mar/20/france-decrees-new-rooftops-must-be-covered-in-plants-or-solar-panels>
- Agencia Estatal de Meteorología. (2011). *Atlas Climático Ibérico*. Agencia Estatal de Meteorología. Obtenido de <http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/publicaciones/Atlas-climatologico/Atlas.pdf>
- Agencia Estatal de Meteorología. (2017). *Resúmenes climatológicos. Comunidad de Madrid*. Recuperado el 20 de 02 de 2018, de [http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia\\_clima/resumenes?w=1&k=mad](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes?w=1&k=mad)
- Agencias. (07 de 07 de 2017). Una tromba de agua colapsa Madrid: vuelos cancelados, inundaciones, cortes de Metro... *20 Minutos*. Obtenido de <http://www.20minutos.es/noticia/3085567/0/inundaciones-madrid-tormentas-lluvia-metro-hospitales/>
- Ahora Madrid. (2017). *Analizamos el último nitrogenazo*. Recuperado el 24 de 11 de 2017, de <https://ahoramadrid.org/analizamos-ultimo-nitrogenazo/>
- Alleyne, A. (2017). China unveils plans for world's first pollution-eating 'Forest City'. *CNN*. Recuperado el 9 de Agosto de 2017, de <http://edition.cnn.com/style/article/china-liuzhou-forest-city/index.html>
- Almendros, M. Á., & López Gómez, A. (1 de Abril de 1995). La isla de calor en Madrid y las situaciones sinópticas. *Estudios Geográficos*, 56(219), 207-222.
- Ayuntamiento de Madrid. (2014a). *Distritos en cifras. Mapas de distrito y barrios*. Recuperado el 16 de 11 de 2017, de <http://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Estadistica/Distritos-en-cifras/Distritos-en-cifras-Informacion-de-Barrios-?vgnextfmt=default&vgnextoid=0e9bcc2419cdd410VgnVCM2000000c205a0aRCRD&vgnextchannel=27002d05cb71b310VgnVCM1000000>

- Ayuntamiento de Madrid. (2014b). *Plan Director del API.06.03 "AZCA"*. Recuperado el 29 de Octubre de 2017
- Ayuntamiento de Madrid. (2016a). *Preguntas frecuentes generales sobre el protocolo para episodios de alta contaminación*. Recuperado el 24 de 11 de 2017, de <http://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Movilidad-y-transportes/Preguntas-frecuentes-generales-sobre-el-protocolo-para-episodios-de-alta-contaminacion?vnextfmt=default&vnextoid=6ac1c93b6ca18510VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vnextchannel=220e31d3b2>
- Ayuntamiento de Madrid. (2016b). *Calidad del Aire. Memoria 2016*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2017, de <http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/export/sites/default/cal aire/Anexos/Memoria2016.pdf>
- Ayuntamiento de Madrid. (2016c). *Madrid+Natural*. Madrid. Recuperado el 29 de Octubre de 2017, de [http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/EspInf/EnergiayCC/04CambioClimatico/4c3Mad+Natural/Ficheros/Mad+Natural\\_es.pdf](http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/EspInf/EnergiayCC/04CambioClimatico/4c3Mad+Natural/Ficheros/Mad+Natural_es.pdf)
- Ayuntamiento de Madrid. (2017a). *Datos geográficos y Administrativos. Superficie, Población y Densidad de los Distritos y Barrios de la Ciudad de Madrid*. Recuperado el 19 de 11 de 2017, de <http://www-2.munimadrid.es/CSE6/control/mostrarDatos>
- Ayuntamiento de Madrid. (2017b). *Banco de Datos. Población por distrito y barrio*. Recuperado el 2017 de 11 de 16, de <http://www-2.munimadrid.es/TSE6/control/seleccionDatosBarrio>
- Ayuntamiento de Madrid. (2017c). *Población clasificada por Barrio y Sexo, según Edad (año a año)*. Recuperado el 2017 de 11 de 16, de <http://www-2.munimadrid.es/CSE6/control/seleccionDatos?numSerie=3010102080>
- Ayuntamiento de Madrid. (Mayo de 2017d). *Delimitación Área SER*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2017, de <http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCMovilidadTransportes/SER/Descriptivos/ficheros/%C3%81rea%20SER2017%20alta%20resoluci%C3%B3n.pdf>
- Ayuntamiento de Madrid. (2017e). *Carta de Servicios de Parques y Jardines*. Carta. Recuperado el 19 de 11 de 2017
- Ayuntamiento de Madrid. (2017f). *Territorio, Clima y Medio Ambiente. Climatología. Temperaturas medias y precipitaciones y su comparación con las de los últimos 30 años*. Recuperado el 19 de 11 de 2017, de <http://www-2.munimadrid.es/CSE6/control/seleccionDatos?numSerie=14020000020>
- Ayuntamiento de Madrid. (2017g). *Climatología. Precipitaciones habidas por Observatorios y Meses*. Recuperado el 20 de 02 de 2018, de <http://www-2.munimadrid.es/CSE6/control/seleccionDatos?numSerie=14020000030>



- Ayuntamiento de Madrid. (2017h). *Contaminación. Valores medios de los Contaminantes detectados en el aire por Meses*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2017, de <http://www-2.munimadrid.es/CSE6/control/mostrarDatos>
- Ayuntamiento de Madrid. (1 de Diciembre de 2017i). *Evolución de datos contaminantes por estaciones*. Recuperado el 20 de Febrero de 2018, de <http://www.mambiente.munimadrid.es/sica/scripts/index.php?lang=es>
- Ayuntamiento de Madrid. (2017j). *Mapa de la bici*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2017, de <http://www.infobicimadrid.es/>
- Bates, A., Greswell, R., Mackay, R., Donovan, R., & Sadler, J. (2006). *SWITCH Green Roof Project: Rationale and Experimental design*. Birmingham, UK.
- Bau-Show, L., Chin-Chung, Y., Ai-Tsen, S., & Yann-Jou, L. (2013). Impact of climatic conditions on the thermal effectiveness of an extensive green roof. *Building and Environment*(67), 26-33.
- Bejarano Mederos, M. d. (2002). Los estudios de la isla de carlor en Madrid. *Estudios Geográficos*, 63(248-249), 775-788.
- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., & GhaffarianHoseini, A. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*(115), 411–428.
- Berghage, R., Jarrett, A., Beattie, D., Kelley, K., Husain, S., Rezai, F., . . . Hunt, W. (2007). *Quantifying evaporation and transpirational water losses from green roofs and green roof media capacity for neutralizing acid rain*. State College, Pennsylvania: Pennsylvania State University.
- BOCM. (13 de Julio de 2017). Decreto de 13 de julio de 2017 del Delegado del Área de Gobierno de Desarrollo Urbano Sostenible por el que se aprueba la convocatoria pública de subvenciones 2017. Recuperado el 29 de Octubre de 2017, de [http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UrbanismoyVivienda/Urbanismo/Destacamados/Plan%20MAD-RE/PLAN%20MAD-RE%202017/ficheros/TEXTO\\_CONSOLIDADO\\_Decreto\\_Convocatoria\\_Subvenciones\\_2017.pdf](http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UrbanismoyVivienda/Urbanismo/Destacamados/Plan%20MAD-RE/PLAN%20MAD-RE%202017/ficheros/TEXTO_CONSOLIDADO_Decreto_Convocatoria_Subvenciones_2017.pdf)
- BOE. (2006). *Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*. Madrid: Boletín Oficial del Estado. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-5515>
- BOE. (2007a). *Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera*. (Vol. 275). Madrid: Boletín Oficial del Estado. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-19744-consolidado.pdf>
- BOE. (2007b). *REAL DECRETO 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código*

- Técnico de* (Vol. 254). Madrid: Boletín Oficial del Estado. Obtenido de <https://www.boe.es/boe/dias/2007/10/23/pdfs/A42992-43045.pdf>
- BOE. (2009). *Orden VIV/984/2009, de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre.* (Vol. 99). Madrid: Boletín Oficial del Estado. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2009-6743>
- BOE. (2011). *Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.* (Vol. 25). Madrid: Boletín Oficial del Estado. Obtenido de [http://www.madrid.org/rlma\\_web/html/web/FichaNormativa.icm?ID=1998](http://www.madrid.org/rlma_web/html/web/FichaNormativa.icm?ID=1998)
- BOE. (2013). *Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental* (Vol. 296). Madrid: Boletín Oficial del Estado. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-12913>
- BOE. (10 de Octubre de 2015). *Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.* Madrid. Obtenido de <https://www.boe.es/boe/dias/2015/10/10/pdfs/BOE-A-2015-10927.pdf>
- Brudermann, T., & Sangkakool, T. (2017). Green roofs in temperate climate cities in Europe – An analysis of keydecision factors. *Urban Forestry & Urban Greening*(21), 224–234.
- Castletona, H., Stovinb, V., Beckc, S., & Davisonb, J. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*(42), 1582–1591.
- City of Toronto. (2011). *By-Law No. 1381-2011. Toronto Municipal Code. Green Roofs* (Vol. 492). Toronto.
- Comunidad de Madrid. (s.f.). *Contaminación Atmosférica*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2017, de [http://www.madrid.org/azul\\_internet/html/web/5.htm?ESTADO\\_MENU=5](http://www.madrid.org/azul_internet/html/web/5.htm?ESTADO_MENU=5)
- Conservation Technology. (2008). *Green Roof Handbook. Systems and Components for Optimal.Permance Green Roofs*. Recuperado el 29 de Octubre de 2017, de <http://www.conservationtechnology.com/documents/GreenroofHandbook0116.pdf>
- CYPE Ingenieros. (2017). *Generador de precios de la construcción*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2017, de [http://www.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Cubiertas/Sistemas\\_de\\_cubiertas\\_verdes/Extensivas.html](http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Cubiertas/Sistemas_de_cubiertas_verdes/Extensivas.html)
- de Castro, M., Martin-Vide, J., & Alonso, S. (2005). El clima de España: Pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. En M. d. Ambiente, *Evaluación preliminar de los imapctos en España por efecto del cambio climático* (págs. 1-64). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

- Delgado Sanz, E. (29 de 08 de 2017). La tormenta deja en Madrid el doble de lluvia en un día que la que cae de media en agosto. *ABC*. Obtenido de [http://www.abc.es/espana/madrid/abci-tormenta-deja-madrid-doble-lluvia-media-agosto-201708290137\\_noticia.html](http://www.abc.es/espana/madrid/abci-tormenta-deja-madrid-doble-lluvia-media-agosto-201708290137_noticia.html)
- Documento Básico HS: Salubridad*. (2007). Obtenido de [ftp://ftp.cype.net/normativaconstruccion/coam/cte\\_db\\_hs.pdf](ftp://ftp.cype.net/normativaconstruccion/coam/cte_db_hs.pdf)
- Durán, L. F., Galdón, C., & Agencias. (07 de 07 de 2017). Graves inundaciones en hospitales, carreteras y Metro tras las lluvias en Madrid. *El Mundo*. Obtenido de <http://www.elmundo.es/madrid/2017/07/06/595ea732268e3e8d068b464b.html>
- Ecologistas en Acción. (2015). *2014 Madrid Incumple la legislación sobre contaminación por sexto año consecutivo*. Recuperado el 31 de 10 de 2017, de <http://www.ecologistasenaccion.org/article29242.html>
- Ecologistas en Acción. (2016). *Balace de 2015: aumenta la contaminación del aire en Madrid*. Recuperado el 31 de 10 de 2017, de <http://www.ecologistasenaccion.org/article31451.html>
- Ecologistas en Acción. (2017). *El aire en Madrid en 2016: ligeras mejoras, pero seguimos incumpliendo la ley*. Recuperado el 31 de 10 de 2017, de <http://www.ecologistasenaccion.org/article6606.html>
- EFE. (07 de 07 de 2017). Desvíos de vuelos, inundaciones y grandes retenciones en Madrid por la lluvia. *eldiario*. Obtenido de [http://www.eldiario.es/sociedad/Desvios-inundaciones-grandes-retenciones-Madrid\\_0\\_662484615.html](http://www.eldiario.es/sociedad/Desvios-inundaciones-grandes-retenciones-Madrid_0_662484615.html)
- eldiario. (07 de 07 de 2017). La lluvia en Madrid inunda hospitales, estaciones de metro y carreteras. *eldiario*. Obtenido de [http://www.eldiario.es/sociedad/lluvia-Madrid-inunda-hospitales-estaciones\\_0\\_662484113.html](http://www.eldiario.es/sociedad/lluvia-Madrid-inunda-hospitales-estaciones_0_662484113.html)
- EPA. (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Green roofs*. Recuperado el 29 de Octubre de 2017, de [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-05/documents/reducing\\_urban\\_heat\\_islands\\_ch\\_3.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_3.pdf)
- EPA. (2016a). *Particulate Matter (PM) Basics*. Recuperado el 29 de Octubre de 2017, de <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
- EPA. (2016b). *Sulfur Dioxide Basics*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2017, de <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics>
- EPA. (2016c). *Basic Information about NO2*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2017, de <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2>
- EPA. (2016d). *Basic Information about Carbon Monoxide (CO) Outdoor Air Pollution*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2017, de <https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution>

- EPA. (2017a). *Basic Information about Lead Air Pollution*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2017, de <https://www.epa.gov/lead-air-pollution/basic-information-about-lead-air-pollution>
- EPA. (2017b). *Basics Information about Ozone*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2017, de <https://www.epa.gov/ozone-pollution/basics-information-about-ozone>
- EUR-Lex. (21 de Mayo de 2008). *DIRECTIVA 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa*. Diario Oficial de la Unión Europea. Recuperado el 31 de Octubre de 2017, de <https://www.boe.es/doue/2008/152/L00001-00044.pdf>
- F2I2; ETSII UPM. (2014). *Inventario de Emisiones de contaminantes a la atmósfera en el Municipio de Madrid*. Madrid. Recuperado el 20 de Noviembre de 2017, de <http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/export/sites/default/calair/Anexos/InventarioEAM2014.pdf>
- Flores Rodríguez, J. (1997). Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios. En A. Palacios, L. América, & ECO, *Introducción a la toxicología ambiental* (págs. 123-147). Metepec; ECO.
- Gaffin, S., Parshall, L., O’Keeffe, G., Braman, D., Beattie, D., & Berghage, R. (2006). *Energy balance modeling applied to a comparison of white and green roof cooling efficiency. Green roofs in the New York Metropolitan region research report*. Obtenido de <http://www.statisticstutors.com/articles/debrat-green-roofs.pdf#page=17>
- Garrido, A., Willaarts, B., López-Gunn, E., & Rey, D. (2013). Considerations on climate variability and change in Spain. En L. De Stefano, & M. R. Llamas, *Water, Agriculture and the Environment in Spain: can we square the circle?* (págs. 191-202). Londres: Taylor & Francis Group.
- Getter, K., & Rowe, D. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 5(41), 1276–1285.
- Gómez, V. (18 de 10 de 2017). Primer gran atasco del otoño con la lluvia: colapsadas las entradas a Madrid y retenciones en la capital. *El Mundo*. Obtenido de <http://www.elmundo.es/madrid/2017/10/18/59e70c1d468aeb52098b4633.html>
- Gregoire, B., & Clausen, J. (2011). Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. *Ecological Engineering*, 963-969.
- IDAE. (2011). *Consumos del Sector Residencial en España*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2017, de [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Documentacion\\_Basica\\_Residencial\\_Unido\\_c93da537.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf)
- Junta de Gobierno. (2017). *Plan A de Calidad del Aire y Cambio Climático*. Madrid. Recuperado el 01 de Octubre de 2017, de [http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/CalidadAire/Ficheros/PlanAireyCC\\_092017.pdf](http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/CalidadAire/Ficheros/PlanAireyCC_092017.pdf)

- Junta de Gobierno. (2016). • *Protocolo de medidas a adoptar durante episodios de alta contaminación por dióxido de nitrógeno, aprobado en Junta de Gobierno el 21 de enero de 2016 y que entró en vigor el 1 de febrero de 2016*. Madrid. Obtenido de [http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/export/sites/default/calair/Anexos/Protocolo\\_NO2.pdf](http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/export/sites/default/calair/Anexos/Protocolo_NO2.pdf)
- Lázaro Touza, L., & López-Gunn, E. (2012). Climate Change Policies—Mitigation and Adaptation at the Local Level: The Case of the City of Madrid (Spain). En M. Tortora, *Sustainable Systems and Energy Management at the Regional Level: Comparative Approaches* (págs. 261-287). Hershey, PA, USA: IGI Global.
- Li, W., & Yeung, K. K. (2014). A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment*(3), 127–134.
- López Gómez, A. (1991). *El clima urbano de Madrid. La isla de calor*. Madrid: CSIC.
- López Gómez, A., Fernández García, F., López Gómez, J., & Moreno Jiménez, A. (1993). *El clima urbano teledetección de la isla de calor en Madrid*. Madrid: Madrid Centro de Publicaciones, Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- López Letón, S. (2016). Ponga un jardín en el tejado. *El País*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2017, de [https://elpais.com/economia/2016/05/13/actualidad/1463130135\\_775938.html](https://elpais.com/economia/2016/05/13/actualidad/1463130135_775938.html)
- MDO. (28 de 08 de 2017). Granizo y lluvias en pleno agosto en Madrid. *madridiario*. Obtenido de <https://www.madridiario.es/447776/tormenta-lluvias-madrid>
- Miller, R. (2017). *Cuál es el propósito de la grava en un techo plano*. Recuperado el 19 de 11 de 2017, de [http://www.ehowenespanol.com/proposito-grava-techo-plano-info\\_357110/](http://www.ehowenespanol.com/proposito-grava-techo-plano-info_357110/)
- Minguito, A. (28 de 11 de 2017). El impuesto al sol pasa a ser ilegal según las normas de la Unión Europea. *El Salto*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2017, de <https://www.elsaltodiario.com/ecologia/impuesto-al-sol-ilegal-normas-union-europea>
- Miranda, B. (2014). El mayor huerto urbano en una azotea de Madrid. *El Mundo*. Recuperado el 9 de Diciembre de 2017, de <http://www.elmundo.es/tendencias/2014/05/28/5384bab7268e3e5a308b457c.html>
- Nuñez Peiró, M., Román López, E., & Sánchez-Guevara Sánchez, C. &. (2016). Hacia un modelo dinámico para la isla de calor. *Anales de Edificación*, 2(1), 49-58.
- NWRM. (2015). *Case Study: Green Roofs of Vienna*. Vienna: Natural Water Retention Measures.
- OMS. (2016). *Directrices para la Calidad del Aire. Actualización Global 2005*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2017, de [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1)

- ONU. (2014). *La situación demográfica en el mundo*. Nueva York: ONU. Recuperado el 22 de 11 de 2017, de <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/trends/Concise%20Report%20on%20the%20World%20Population%20Situation%202014/es.pdf>
- Peck, S., & Kuhn, M. (2003). *Design Guidelines for Green Roofs*. Canada Mortgage and Housing Corporation and the Ontario Association of Architects. Recuperado el 29 de Octubre de 2017, de <https://www.eugene-or.gov/DocumentCenter/Home/View/1049>
- Peck, S., Callaghan, C., Kuhn, M. E., & Bass, B. (1999). *Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada*. Ottawa, Canada: Canada Mortgage and Housing Corporation.
- Pérez, G., Vila, A., Castell, A., & Cabeza, L. F. (2010). Ensayos con arquitectura vegetada. *Seguridad y Medio Ambiente*, 2(118), 34-45. Recuperado el 29 de Octubre de 2017, de <http://www.seguridadypromociondelasalud.com/n118/articulo3.html>
- Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible. (2010a). *Sistema de indicadores y condicionantes para ciudades grandes y medianas*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2017, de [http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/medio-ambiente-urbano/indicadores\\_ciudades\\_grandes\\_y\\_medianas\\_tcm7-177731.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/medio-ambiente-urbano/indicadores_ciudades_grandes_y_medianas_tcm7-177731.pdf)
- Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible. (2010b). *Sistema municipal de indicadores de sostenibilidad*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2017, de [http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/medio-ambiente-urbano/sistema\\_municipal\\_indicadores\\_sostenibilidad\\_tcm7-177732.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/medio-ambiente-urbano/sistema_municipal_indicadores_sostenibilidad_tcm7-177732.pdf)
- Rodríguez-Pina, G. (2015). Qué es el 'impuesto al sol' y cómo van a cobrar por el autoconsumo energético. *HuffingtonPost*. Recuperado el 29 de Octubre de 2017, de [http://www.huffingtonpost.es/2015/10/09/impuesto-al-sol-autoconsumo-energetico\\_n\\_8267900.html](http://www.huffingtonpost.es/2015/10/09/impuesto-al-sol-autoconsumo-energetico_n_8267900.html)
- Saiz, S., Kennedy, C., Bass, B., & Pressnail, K. (2006). Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green Roofs. *Environmental Science & Technology*(40), 4312-4316.
- Santamouris, M. (2012). Cooling the cities- a review of reflective and green roof technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*.
- Subdirección General de Estadística. (2014). *Distrito Peñagrande*. Recuperado el 16 de 11 de 2017, de <http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCEstadistica/Nuevaweb/Territorio,%20Clima%20y%20Medio%20Ambiente/Territorio/Cartograf%C3%ADa/Mapas%20de%20dist%20y%20bar/Fuencarral-El%20Pardo/Barrio%20083.pdf>
- Tapia, C., Abajo, B., Feliu, E., Fernández, J. G., Padró, A., & Castaño, J. (2015). *Análisis de Vulnerabilidad ante el cambio climático en el municipio de Madrid*. Madrid: Ayuntamiento de Madrid.
- UNE-EN ISO 14001:2015. (s.f.). *sobre Sistemas de Gestión Ambiental*. Madrid: AENOR.

- Weiler, S., & Scholz-Barth, K. (2011). *Green Roof Systems: A Guide to the Planning, Design, and Construction of Landscapes over Structure*. John Wiley & Sons.
- WMO. (2017a). *El aumento de la concentración de gases de efecto invernadero alcanza un nuevo récord*. Recuperado el 31 de 10 de 2017, de World Meteorological Organization: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-aumento-de-la-concentraci%C3%B3n-de-gases-de-efecto-invernadero-alcanza-un>
- WMO. (2017b). The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2016. *World Meteorological Organization Greenhouse Gas Bulletin*(13). Obtenido de [https://library.wmo.int/opac/doc\\_num.php?explnum\\_id=4022](https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=4022)
- Woogt, J. A. (2008). *Islas de Calor en Zonas Urbanas: Ciudades Más Calientes*. Recuperado el 14 de 11 de 2017, de <http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/voogt.html>
- Yang, J., Qian, Y., & Gong, P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*(42), 7266-7273.
- Yok Tan, P., & Sia, A. (2005). A pilot green roof research project in Singapore. *3rd North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities* (págs. 399-415). Washington DC: The Cardinal Group, Toronto.
- Zinzi, M., & Agnoli, S. (2012). Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. *Energy and Buildings*(55), 66-76.

### 13. Anexos

#### 7.1. Anexo I. Documentación gráfica de los edificios en construcción

Figura 14. Edificios en construcción en la zona sur del Barrio del Pilar



Fuente: Propia



## 7.2. Anexo II. Documentación gráfica de contaminación

Figura 15. Comparación de días con contaminación y días con contaminación



Fuente: Propia

### 7.3. Anexo III. Mediciones de los contaminantes

Tabla 8. Contaminación por SO<sub>2</sub> en las diferentes estaciones de Madrid (2013-2017)

Fecha	SO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]									
	Plaza España	Escuelas Aguirre	Villaverde	Farolillo	Casa de Campo	Plaza del Carmen	Moratalaz	Cuatro Caminos	Puente de Vallecas	Sanchinarro
01/01/13	6	-	5	5	2	5	5	5	4	6
01/02/13	5	9	4	3	2	7	3	5	5	7
01/03/13	4	8	3	2	1	5	21	5	5	5
01/04/13	4	5	3	2	1	3	1	3	4	7
01/05/13	4	5	2	3	1	4	5	4	3	3
01/06/13	3	4	3	3	2	3	1	2	2	4
01/07/13	4	4	3	4	2	4	1	3	2	5
01/08/13	3	4	5	4	2	4	2	3	2	6
01/09/13	4	4	5	4	2	4	1	2	1	7
01/10/13	4	5	6	4	2	3	1	2	4	5
01/11/13	6	9	5	6	3	8	5	7	3	6
01/12/13	9	13	8	8	4	8	28	7	3	5
01/01/14	6	7	6	5	3	5	2	4	2	8
01/02/14	5	6	6	5	3	6	2	3	3	8
01/03/14	6	8	8	6	3	6	2	3	2	9
01/04/14	4	6	7	4	3	6	3	5	4	10
01/05/14	3	6	5	2	2	4	1	2	2	5
01/06/14	3	6	5	3	3	4	1	2	4	6
01/07/14	4	7	7	3	3	4	1	2	3	5
01/08/14	3	7	7	3	3	4	1	2	4	5
01/09/14	4	5	6	3	2	5	2	2	3	6
01/10/14	5	5	3	4	2	4	2	3	3	4
01/11/14	6	8	4	6	2	6	4	5	6	6
01/12/14	11	12	6	10	3	7	8	6	5	6
01/01/15	12	14	7	7	4	16	19	17	14	12
01/02/15	7	11	4	3	2	5	4	4	5	7
01/03/15	7	11	5	3	3	6	6	4	4	6
01/04/15	6	8	4	2	2	-	6	4	6	8
01/05/15	6	9	5	2	2	5	6	3	4	8
01/06/15	5	12	4	2	2	5	7	3	4	9
01/07/15	5	11	3	2	2	6	9	3	3	7
01/08/15	6	12	5	2	2	5	7	2	3	10
01/09/15	7	12	6	2	2	5	8	3	3	9
01/10/15	7	12	8	3	2	4	6	3	5	11

01/11/15	10	17	10	5	3	14	24	4	4	10
01/12/15	13	19	11	7	3	13	14	13	12	13
01/01/16	8	16	8	4	2	6	9	11	6	14
01/02/16	9	18	9	4	2	16	6	8	8	18
01/03/16	9	17	9	4	2	15	7	8	8	17
01/04/16	8	15	17	3	2	12	7	4	5	4
01/05/16	7	15	15	4	2	15	4	2	5	5
01/06/16	7	17	14	4	57	11	5	2	5	4
01/07/16	7	9	8	4	78	19	6	2	6	5
01/08/16	7	6	8	9	80	12	6	2	3	2
01/09/16	8	9	9	7	75	12	7	1	3	3
01/10/16	7	11	12	7	3	13	8	3	6	8
01/11/16	4	9	12	-	3	5	8	5	6	7
01/12/16	8	10	15	-	4	-	-	4	8	14
01/01/17	8	11	13	8	3	9	7	8	12	15
01/02/17	6	7	13	8	3	3	9	7	12	17
01/03/17	6	7	13	8	3	3	8	4	11	17
01/04/17	5	5	4	8	3	3	8	3	10	3
01/05/17	5	6	2	3	3	2	12	3	10	3
01/06/17	5	8	2	1	3	11	10	3	9	4
01/07/17	5	10	1	1	3	12	5	2	8	5
01/08/17	5	12	2	2	3	9	5	2	8	6
01/09/17	6	12	3	3	3	18	5	2	8	7
01/10/17	4	6	3	7	3	14	5	3	10	7

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del banco de datos del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2017h) (Ayuntamiento de Madrid, 2017i)

Tabla 9. Contaminación por NO<sub>2</sub> en las diferentes estaciones de Madrid (2013-2017)

NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]																								
Fecha	Plaza de España	Escuelas Aguirre	Ramón y Cajal	Arturo Soria	Villaverde	Farolillo	Casa de Campo	Barajas Pueblo	Plaza del Carmen	Moratalla	Cuatro Caminos	Barrio del Pilar	Puente de Vallecas	Méndez Álvaro	Castellana	Retiro	Plaza de Castilla	Ensanche de Vallecas	Urbanización Embajada	Fernández Ladreda	Sancharro	El Pardo	Juan Carlos I	Tres Olivos
01/01/13	51	-	56	51	50	43	25	43	38	34	43	42	41	40	48	37	49	25	47	59	44	15	25	37
01/02/13	50	45	48	41	42	36	21	36	46	51	49	51	46	36	39	32	60	32	55	57	53	17	38	44
01/03/13	39	37	35	33	27	26	13	27	53	29	59	40	39	25	33	24	51	40	40	67	35	18	14	30
01/04/13	35	33	30	27	27	25	13	23	21	25	28	31	24	23	27	22	40	17	20	26	22	7	11	20
01/05/13	36	33	31	25	26	25	12	22	31	26	37	29	30	23	25	20	35	23	33	44	26	18	13	25
01/06/13	34	34	30	23	26	22	11	20	24	11	27	13	11	20	24	19	16	13	11	35	9	11	4	8
01/07/13	44	41	38	9	28	25	16	25	41	25	40	41	23	24	30	23	36	15	34	55	28	22	18	27
01/08/13	36	34	28	24	27	24	14	24	42	32	37	48	29	22	23	22	42	22	41	65	26	27	19	27
01/09/13	53	46	47	37	39	37	25	33	30	14	29	23	20	34	39	32	15	16	16	48	12	15	8	11
01/10/13	49	52	48	43	41	38	27	38	17	16	20	18	17	38	47	31	28	8	20	24	17	5	12	14
01/11/13	49	50	44	40	42	39	26	34	57	54	54	57	54	40	42	34	52	31	55	64	43	27	29	43
01/12/13	71	61	59	57	73	59	44	52	51	30	49	40	30	59	59	45	31	25	34	66	26	18	17	25
01/01/14	44	55	43	43	40	35	20	36	29	25	29	31	29	36	1458	34	37	16	30	29	24	8	13	20
01/02/14	40	43	41	40	33	32	18	959	24	18	18	18	22	31	47	14	25	9	12	21	14	3	7	12
01/03/14	47	47	44	40	40	38	23	34	21	20	20	22	24	37	29	17	27	15	19	20	17	4	11	13
01/04/14	36	42	36	31	32	29	16	28	37	33	39	42	41	28	45	23	44	25	28	62	34	23	23	32
01/05/14	30	38	33	24	25	24	12	22	31	15	29	21	28	23	20	18	28	19	13	30	17	7	7	14
01/06/14	29	41	34	25	24	23	13	21	20	6	21	9	14	22	9	8	13	11	9	30	7	4	2	6
01/07/14	37	49	36	26	26	24	13	23	20	22	27	24	32	23	27	15	36	21	27	34	21	9	12	15
01/08/14	29	41	22	23	23	20	11	23	19	19	19	21	22	19	22	13	35	18	25	33	18	8	12	14
01/09/14	36	56	21	33	32	30	19	32	40	40	40	41	48	30	40	20	40	15	43	72	31	12	20	28
01/10/14	44	68	40	39	49	42	28	35	35	36	36	34	41	44	33	19	27	36	43	68	24	19	17	23
01/11/14	36	59	47	42	44	39	27	37	66	59	69	74	64	39	63	40	66	81	61	82	56	19	38	53
01/12/14	47	75	63	60	73	60	45	48	57	37	54	47	41	59	46	17	62	45	40	-	41	13	16	35

01/01/15	62	80	69	68	84	63	49	54	93	127	101	125	102	67	96	81	112	108	94	105	97	40	69	93
01/02/15	46	51	40	40	37	33	21	32	26	12	16	16	16	37	18	13	33	13	10	20	11	2	8	16
01/03/15	54	56	43	41	42	38	23	36	31	26	22	20	22	44	25	14	27	22	25	25	16	4	16	18
01/04/15	46	45	31	30	28	26	14	25	-	21	36	24	24	29	20	28	24	50	31	55	18	6	13	23
01/05/15	42	47	33	28	28	27	14	22	25	23	20	22	22	28	35	19	23	17	27	31	17	9	13	19
01/06/15	48	53	40	30	29	28	16	21	36	19	42	34	17	25	37	27	10	31	35	43	20	16	13	32
01/07/15	48	57	42	35	31	31	15	23	45	27	53	50	24	30	44	23	22	44	28	49	20	18	15	17
01/08/15	33	43	30	29	26	27	13	22	50	15	33	11	13	28	20	12	46	13	37	28	10	10	9	18
01/09/15	47	53	42	39	36	36	18	34	51	21	42	36	32	35	35	30	47	19	35	43	17	25	24	40
01/10/15	52	60	50	47	47	43	27	37	52	45	40	32	28	31	23	49	67	19	35	33	29	21	19	56
01/11/15	61	76	63	62	70	58	35	43	53	58	58	36	41	51	50	20	67	32	66	62	28	15	10	36
01/12/15	71	76	68	68	90	70	45	60	89	86	95	106	99	66	66	75	80	119	108	121	55	54	50	91
01/01/16	43	56	44	46	47	42	24	43	45	23	35	33	31	44	41	31	75	53	28	36	36	17	18	49
01/02/16	37	54	37	41	40	36	18	34	53	19	52	41	48	37	60	60	36	61	76	65	57	25	20	12
01/03/16	40	54	39	37	40	37	17	37	70	67	74	76	71	36	68	58	77	29	14	83	72	35	31	89
01/04/16	38	49	37	33	33	32	16	31	47	31	14	34	20	31	20	18	37	22	33	17	21	10	8	27
01/05/16	37	50	37	30	32	31	14	29	48	22	16	40	31	27	7	11	12	44	21	74	17	6	18	21
01/06/16	40	53	39	30	31	28	319	28	45	32	46	26	31	25	33	32	40	33	42	69	26	16	28	25
01/07/16	42	52	41	27	29	28	466	28	34	16	24	28	14	26	46	31	19	11	18	49	18	20	15	23
01/08/16	37	46	34	27	30	29	470	31	43	27	24	28	28	27	27	15	32	19	29	55	22	13	20	20
01/09/16	57	65	52	41	49	44	715	42	48	57	40	27	26	42	27	18	27	36	44	59	32	17	25	51
01/10/16	60	70	56	42	53	51	31	48	51	48	37	63	47	53	45	44	57	33	41	30	49	25	21	55
01/11/16	54	66	52	51	55	-	31	45	57	55	27	77	63	53	46	53	61	38	51	69	59	32	20	65
01/12/16	61	71	58	52	73	-	39	51	-	-	53	44	51	61	51	44	43	58	62	59	43	26	15	46
01/01/17	57	69	55	53	67	56	34	51	55	47	47	53	50	60	49	41	52	66	50	82	45	35	22	58
01/02/17	51	60	44	45	49	44	26	40	60	62	63	62	67	46	41	46	61	50	63	73	56	30	21	67
01/03/17	45	62	43	43	48	41	22	41	42	45	28	43	46	43	42	31	52	58	34	58	41	22	56	40
01/04/17	42	52	33	29	31	32	17	29	30	19	43	14	20	33	28	9	20	16	44	55	31	3	19	10

01/05/17	40	54	35	29	32	30	15	29	27	20	16	15	20	31	29	10	22	29	25	21	13	6	27	12
01/06/17	44	58	39	33	25	29	13	28	50	36	43	33	37	29	32	23	37	20	32	40	26	13	22	27
01/07/17	42	57	36	34	39	32	16	32	18	8	20	8	10	31	30	4	13	15	45	33	6	3	13	5
01/08/17	36	45	28	28	35	27	15	29	38	40	38	25	36	27	24	15	37	11	29	26	28	12	7	23
01/09/17	52	63	44	41	51	40	22	39	35	18	45	13	19	43	36	14	16	35	42	50	12	6	24	13
01/10/17	64	72	59	50	63	55	37	52	39	21	44	59	20	57	49	20	17	21	24	45	13	11	46	13
01/11/17	66	80	70	61	2391	63	46	46	62	51	50	48	45	53	44	41	40	49	52	71	35	19	27	35

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del banco de datos del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2017h)  
(Ayuntamiento de Madrid, 2017i)

Tabla 10. Contaminación por PM<sub>2,5</sub> en las diferentes estaciones de Madrid (2013-2017)

PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]						
Fecha	Escuelas Aguirre	Casa de Campo	Cuatro Caminos	Méndez Álvaro	Castellana	Plaza de Castilla
01/01/2013	-	9	9	10	10	11
01/02/2013	10	7	11	9	8	16
01/03/2013	9	6	12	7	7	11
01/04/2013	10	7	7	8	9	8
01/05/2013	9	6	9	7	8	8
01/06/2013	12	7	7	9	9	7
01/07/2013	15	10	13	14	12	11
01/08/2013	14	10	13	11	11	18
01/09/2013	13	9	14	10	9	10
01/10/2013	12	8	3	11	7	7
01/11/2013	10	7	11	8	6	11
01/12/2013	12	10	7	14	9	5
01/01/2014	10	6	5	9	222	8
01/02/2014	9	6	5	8	7	6
01/03/2014	12	9	7	11	5	7
01/04/2014	10	7	7	10	7	10
01/05/2014	10	7	7	12	6	10
01/06/2014	12	9	7	10	5	6
01/07/2014	13	9	11	10	9	10
01/08/2014	12	8	17	9	17	18
01/09/2014	13	9	13	10	10	11
01/10/2014	15	11	16	14	15	12
01/11/2014	12	10	20	11	16	16
01/12/2014	13	11	8	14	7	-
01/01/2015	-	12	-	-	-	-
01/02/2015	-	7	3	8	3	4
01/03/2015	12	8	5	11	6	6
01/04/2015	10	7	7	9	6	5
01/05/2015	11	8	7	9	8	7
01/06/2015	14	10	11	12	11	-
01/07/2015	-	12	13	12	16	-
01/08/2015	12	9	6	10	5	5
01/09/2015	10	6	10	8	11	11
01/10/2015	13	8	12	10	12	12
01/11/2015	17	12	8	16	8	7
01/12/2015	24	21	18	25	16	17

01/01/2016	13	10	12	12	11	13
01/02/2016	12	8	22	10	18	21
01/03/2016	10	7	13	9	12	13
01/04/2016	8	5	4	6	3	3
01/05/2016	8	6	3	7	3	3
01/06/2016	10	203	9	10	8	8
01/07/2016	12	315	11	12	12	11
01/08/2016	10	233	9	12	11	8
01/09/2016	12	298	11	13	7	9
01/10/2016	13	11	11	15	11	11
01/11/2016	12	10	21	12	9	17
01/12/2016	16	15	8	17	12	5
01/01/2017	14	13	22	15	11	21
01/02/2017	12	12	19	14	11	19
01/03/2017	10	8	6	10	9	11
01/04/2017	8	8	3	9	7	3
01/05/2017	9	8	4	9	7	4
01/06/2017	12	10	11	13	10	10
01/07/2017	11	10	3	10	8	1
01/08/2017	10	12	5	11	8	8
01/09/2017	9	8	7	10	7	5
01/10/2017	10	10	8	11	8	7

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del banco de datos del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2017h) (Ayuntamiento de Madrid, 2017i)



Tabla 11. Contaminación por PM<sub>10</sub> en las diferentes estaciones de Madrid (2013-2017)

Fecha	PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]											
	Escuelas Aguirre	Faro lillo	Casa de Campo	Mora talaz	Cuatro Caminos	Puente de Vallecas	Méndez Alvaro	Caste llana	Plaza de Castilla	Urbanización Embajada	Sanchinarro	Tres Olivos
01/01/13	-	17	12	14	12	15	16	20	18	16	17	12
01/02/13	11	14	10	14	19	16	14	16	31	25	21	14
01/03/13	11	10	9	12	18	17	11	14	28	12	16	7
01/04/13	20	17	13	10	9	8	16	17	12	8	8	9
01/05/13	17	14	11	13	10	11	15	14	12	12	11	17
01/06/13	29	23	17	13	12	12	21	22	11	11	12	14
01/07/13	38	32	25	33	32	30	30	30	32	31	36	36
01/08/13	35	28	27	47	52	50	26	28	54	52	54	51
01/09/13	29	22	21	20	28	20	22	21	16	21	19	23
01/10/13	25	19	15	10	6	5	20	19	16	11	10	10
01/11/13	18	14	11	19	20	18	15	14	20	17	12	15
01/12/13	19	18	13	8	8	7	18	15	7	7	5	6
01/01/14	17	13	10	10	7	11	13	408	10	7	4	6
01/02/14	16	11	9	8	6	7	12	14	9	5	6	7
01/03/14	23	18	15	13	7	8	19	13	11	9	8	8
01/04/14	20	16	13	15	13	18	18	14	20	16	12	14
01/05/14	19	19	15	14	11	11	17	13	13	12	12	12
01/06/14	25	20	17	12	9	9	21	11	9	9	9	11
01/07/14	27	20	18	24	13	17	21	24	20	20	17	17
01/08/14	28	21	18	40	28	29	20	40	33	34	34	34
01/09/14	27	19	17	25	18	22	19	24	21	18	20	20
01/10/14	35	25	23	33	21	22	27	30	20	29	24	25
01/11/14	25	20	18	37	29	33	22	31	31	27	29	29
01/12/14	23	21	16	16	15	16	22	12	20	11	13	13
01/01/15	21	21	15	64	33	42	20	41	41	32	29	30
01/02/15	17	12	-	6	5	5	12	6	8	4	4	7
01/03/15	23	17	14	17	8	9	18	9	10	9	8	12
01/04/15	20	18	16	16	15	15	17	10	10	8	11	14
01/05/15	24	23	18	26	15	16	18	13	13	28	21	21
01/06/15	25	21	23	23	20	24	19	18	-	30	35	36
01/07/15	-	27	30	39	29	40	24	30	-	47	43	37
01/08/15	27	24	26	10	12	9	21	8	8	12	7	6
01/09/15	22	19	13	20	20	24	15	20	20	19	18	16
01/10/15	21	18	14	31	18	23	17	20	22	21	14	11
01/11/15	28	24	18	15	10	11	25	12	11	13	11	10
01/12/15	41	42	28	25	32	24	40	27	31	29	25	24

01/01/16	20	17	11	12	13	11	18	16	19	11	11	12
01/02/16	26	22	16	20	30	19	23	25	32	19	11	13
01/03/16	17	14	11	19	22	18	14	22	25	21	25	23
01/04/16	12	9	8	7	8	7	10	6	7	6	8	6
01/05/16	15	12	11	6	6	8	12	5	6	10	8	6
01/06/16	23	18	458	16	14	15	17	13	13	14	12	13
01/07/16	26	19	696	25	24	22	21	21	20	26	25	23
01/08/16	26	18	554	21	19	19	22	19	16	19	19	16
01/09/16	28	17	681	30	26	27	25	22	22	31	26	23
01/10/16	28	19	23	23	25	24	25	21	22	28	22	24
01/11/16	19	-	15	24	31	24	18	14	24	24	30	23
01/12/16	23	-	21	-	13	11	24	18	10	-	10	9
01/01/17	20	26	18	30	27	25	21	16	24	28	15	17
01/02/17	25	34	25	31	27	31	23	22	25	32	17	20
01/03/17	19	23	14	16	11	17	15	16	15	18	15	14
01/04/17	19	25	17	10	8	8	16	13	5	11	9	10
01/05/17	20	22	16	10	8	9	14	13	5	10	8	9
01/06/17	27	31	22	23	21	23	22	18	14	23	24	28
01/07/17	22	29	23	8	6	7	17	16	2	6	10	9
01/08/17	19	23	26	23	16	25	19	17	15	27	31	27
01/09/17	15	17	17	12	13	10	16	13	7	12	7	5
01/10/17	16	21	21	19	14	20	20	15	10	17	18	14

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del banco de datos del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2017h) (Ayuntamiento de Madrid, 2017i)

Tabla 12. Contaminación por O<sub>3</sub> en las diferentes estaciones de Madrid (2013-2017)

O <sub>3</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]														
Fecha	Escuelas Aguirre	Arturo Soria	Villaverde	Farolillo	Casa de Campo	Barajas Pueblo	Plaza del Carmen	Barrio del Pilar	Retiro	Ensanche de Vallecas	Fernández Ladreda	El Pardo	Juan Carlos I	Tres Olivos
01/01/13	-	22	26	25	35	31	21	21	25	27	21	20	16	21
01/02/13	29	31	35	33	45	40	17	15	36	19	18	23	16	19
01/03/13	40	40	49	46	58	53	39	52	48	48	38	55	58	59
01/04/13	50	54	57	56	70	62	56	51	61	55	51	67	63	60
01/05/13	53	64	60	65	78	64	50	60	65	56	44	61	63	65
01/06/13	56	75	55	75	88	80	85	99	73	93	78	91	110	105
01/07/13	69	82	78	84	94	87	71	73	84	86	64	88	91	85
01/08/13	64	74	58	77	88	82	65	65	76	74	57	74	64	79
01/09/13	44	52	38	52	64	60	86	92	54	97	85	103	86	103
01/10/13	23	30	27	26	36	31	26	19	28	29	16	30	21	17
01/11/13	21	30	26	25	35	34	17	16	29	31	17	19	28	27
01/12/13	17	23	18	21	24	23	22	36	19	43	24	41	42	48
01/01/14	24	33	32	41	41	35	31	29	28	49	33	36	37	42
01/02/14	31	40	43	50	48	1114	50	59	51	65	58	62	52	65
01/03/14	43	54	42	58	57	53	51	50	44	59	55	58	49	61
01/04/14	44	58	35	63	61	56	47	44	43	56	32	40	42	53
01/05/14	61	75	63	82	81	73	59	67	56	71	57	57	64	76
01/06/14	61	83	63	79	87	82	83	86	83	87	71	87	83	94
01/07/14	63	79	65	76	89	84	78	68	65	70	60	70	68	78
01/08/14	61	74	59	74	84	79	98	89	86	92	77	92	85	100
01/09/14	41	52	41	52	63	61	71	66	65	69	46	85	68	76
01/10/14	27	35	34	31	40	41	57	51	48	52	30	59	49	64
01/11/14	24	31	33	31	39	36	26	26	22	26	16	31	40	30
01/12/14	16	23	14	17	22	25	26	42	38	44	-	50	65	48

01/01/15	17	22	16	18	25	22	5	6	7	15	11	12	20	15
01/02/15	37	43	43	46	52	43	57	72	71	77	72	81	92	81
01/03/15	37	42	40	42	47	41	36	53	47	52	50	65	63	58
01/04/15	55	61	61	63	68	58	-	62	61	64	48	68	80	73
01/05/15	59	67	67	67	74	66	56	60	54	56	44	50	61	61
01/06/15	70	82	80	81	90	83	68	69	71	85	61	82	94	81
01/07/15	64	78	74	76	84	79	92	91	84	97	70	95	95	98
01/08/15	59	71	64	64	76	67	93	98	88	90	60	102	65	90
01/09/15	44	47	52	53	65	54	63	59	53	58	40	56	56	53
01/10/15	15	23	29	27	41	33	30	45	41	41	18	52	38	51
01/11/15	17	21	17	17	34	19	46	53	56	23	42	50	60	61
01/12/15	9	9	8	9	14	10	9	10	8	12	13	13	29	33
01/01/16	22	24	24	28	38	26	22	23	23	44	58	19	38	39
01/02/16	32	40	39	42	48	42	7	11	9	5	17	15	11	29
01/03/16	44	50	47	51	62	50	13	27	29	42	30	32	41	38
01/04/16	47	53	51	54	62	52	47	81	71	75	64	72	53	91
01/05/16	53	61	57	64	68	59	59	87	74	68	74	81	50	83
01/06/16	55	65	62	76	1939	65	52	86	76	78	59	80	89	95
01/07/16	68	72	76	83	2719	76	43	58	60	77	53	76	93	69
01/08/16	64	65	54	71	2522	67	70	80	78	87	69	95	86	93
01/09/16	44	46	32	48	1832	49	61	72	68	77	65	91	80	85
01/10/16	28	27	20	25	35	28	45	38	52	56	43	61	51	52
01/11/16	20	17	14	-	29	24	25	23	26	26	25	31	37	28
01/12/16	17	18	14	-	18	17	-	30	39	32	29	36	43	37
01/01/17	21	27	22	22	31	23	-	10	10	18	14	12	21	15
01/02/17	31	36	32	34	42	34	7	10	13	12	13	9	20	12
01/03/17	42	50	41	48	56	45	38	45	40	40	41	46	39	47

01/04/17	60	71	71	66	78	68	65	97	84	83	89	94	95	92
01/05/17	56	68	57	67	81	66	70	81	78	83	85	85	73	88
01/06/17	59	80	64	75	87	75	72	80	77	82	73	82	87	91
01/07/17	52	77	58	65	78	68	65	69	65	69	60	71	72	77
01/08/17	55	74	60	66	81	62	46	64	60	66	60	68	65	74
01/09/17	46	56	47	47	66	47	50	68	57	67	57	80	69	77
01/10/17	35	40	25	28	40	32	27	52	48	49	40	38	52	61

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del banco de datos del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2017h)  
(Ayuntamiento de Madrid, 2017i)

#### 7.4. Anexo IV. Documentación gráfica de las inundaciones en el Barrio de Peñagrande

Figura 16. Inundaciones en el Barrio de Peñagrande



Fuente: Elaboración Propia

## 7.5. Anexo V. Fases y actividades del proyecto

Tabla 13. Fases y actividades del Proyecto con sus interdependencias

Nº	Actividad	Duración	Inicio	Fin	Dependencia	Recursos	Costes
<b>Fase de preparación de la documentación</b>							
1	Análisis de las necesidades estructurales de cada edificio	2 semanas	01/03/2018	23/04/2018	Comienzan a la vez	Ingeniero	700€
2	Análisis de la integridad del aislante de los edificios	2 semanas	01/03/2018	23/04/2018			
3	Presentación de la documentación para obtener la financiación	1 mes	15/03/2018	16/04/2018	Depende de 1 y 2		
4	Selección de empresa/s encargadas de realizar las obras	1 semana	17/04/2018	23/04/2018	Depende de 3		
<b>Fin de la fase</b>							
<b>Fase de monitorización previa</b>							
5	Medición de temperatura interior	12 meses	01/06/2017	16/05/2017		Instrumentos de medida de temperatura	
6	Medición de temperatura exterior	12 meses	01/06/2017	16/05/2017		Instrumentos de medida de temperatura	
7	Medición de contaminantes	12 meses	01/06/2017	16/05/2017		Instrumentos de medida de contaminantes	
8	Medición de la humedad exterior	12 meses	01/06/2017	16/05/2017		Instrumentos de medida de humedad	
9	Medición de la humedad interior	12 meses	01/06/2017	16/05/2017		Instrumentos de medida de humedad	
<b>Fin de la fase</b>							
<b>Fase de instalación de la cobertura verde</b>						Jardinero y peón de jardinero	731.894,35€
10	Instalación de membrana antirraíces	1 semana	24/04/2018	30/04/2018	Depende de 4	Membrana antirraíces	

11	Instalación de drenante y retenedor de agua		01/05/2018	07/05/2018	Depende de 10	Drenante y retenedor de agua	
12	Instalación de sustrato		08/05/2018	14/05/2018	Depende de 10 y 11	Sustrato	
13	Plantar sedum y otros herbáceos		16/05/2018	22/05/2018	Depende de 10, 11 y 12	Sedum y herbáceos	
<b>Fin de la fase</b>							
<b>Fase de monitorización posterior</b>							
14	Medición de temperatura interna	12 meses	31/05/2018	10/05/2019	Depende de 13	Instrumentos de medida de temperatura	
15	Medición de temperatura externa	12 meses	31/05/2018	10/05/2019	Depende de 13	Instrumentos de medida de temperatura	
16	Medición de la humedad interior	12 meses	31/05/2018	10/05/2019	Depende de 13	Instrumentos de medida de humedad	
17	Medición de la humedad exterior	12 meses	31/05/2018	10/05/2019	Depende de 13	Instrumentos de medida de humedad	
18	Medición de la contaminación	12 meses	31/05/2018	10/05/2019	Depende de 13	Instrumentos de medida de contaminantes	
<b>Fin de la fase</b>							

Fuente: Elaboración Propia