

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES**

**GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**INSTALACIÓN DE UN TEJADO VERDE EN EL CAMPUS DE  
LA UMH PARA MEJORAR EL APROVECHAMIENTO DEL  
AGUA DE LLUVIA Y AUMENTAR LA EFICIENCIA  
ENERGÉTICA DEL EDIFICIO**

TRABAJO FIN DE GRADO

JUNIO 2021

**AUTOR:** AARÓN SEGARRA DE HARO

**TUTOR:** IGNACIO MELÉNDEZ PASTOR

DEPARTAMENTO DE AGROQUÍMICA Y MEDIO AMBIENTE

ÁREA DE INGENIERÍA QUÍMICA

***Instalación de un tejado verde en el campus de la UMH para mejorar el aprovechamiento del agua de lluvia y aumentar la eficiencia energética del edificio***

**Resumen:** El aumento continuado de las zonas urbanas, que conlleva la eliminación de cubiertas permeables, está alterando notablemente el ciclo natural del agua. Debido a la baja retención de las superficies artificiales, las precipitaciones de estas zonas son acumuladas formando grandes caudales de aguas de escorrentía, que generan problemas de inundaciones, arrastrando contaminantes acumulados en la superficie y generando problemas de funcionamiento en las depuradoras de aguas residuales. Además, las cubiertas artificiales suelen tener un menor albedo que las naturales, lo que unido al calor generado por las propias actividades antrópicas propicia en un aumento de las temperaturas en la zona, creando el llamado efecto de “isla de calor urbana”.

En este TFG se plantea la construcción de un tejado verde en una cubierta del edificio Alcudia del campus de la UMH en Elche. Este tipo de infraestructura verde es una muy interesante solución para mejorar el control del ciclo del agua en entornos urbanos, dado que permite reducir la superficie impermeable, a la par de aportar otros beneficios como un mejor aislamiento térmico del edificio, una mejora de la calidad paisajística o la creación de hábitats en entornos urbanos. Se analizan las diferentes soluciones técnicas y estiman las características fundamentales que debería de presentar un tejado verde adaptado a las condiciones ambientales de la zona.

**Palabras clave:** tejado verde, urbanización, ciclo del agua, infraestructura verde, islas de calor.

---

***Installation of a green roof on the UMH campus to improve the use of rainwater and increase the energy efficiency of the building***

**Abstract:** The continued increase in urban areas, leading to the removal of permeable land covers, is significantly altering the natural water cycle. Due to the low retention of artificial surfaces, rainfall in these areas is accumulated forming large surface runoff flows, which generate flood problems, transporting accumulated pollutants on the surface and generating operating problems in wastewater treatment plants. In addition, artificial roofs tend to have a

lower albedo than natural roofs, which together with the heat generated by human activities themselves leads to an increase in temperatures in the area, creating the so-called "urban heat island" effect.

In this TFG the construction of a green roof is proposed on a roof of the Alcudia building on the UMH campus in Elche. This type of green infrastructure is a very interesting solution to improve the control of the water cycle in urban environments, since it allows reducing the impervious surface, as well as providing other benefits such as better thermal insulation of the building, an improvement of the landscape quality or creating new habitats within the cities. The different technical solutions are analyzed and the fundamental characteristics that a green roof adapted to the environmental conditions of the area should present.

**Key words:** green roof, urbanization, water cycle, green infrastructure, heat islands.



## **Agradecimientos**

En primer lugar, a mi profesor y tutor del TFG Ignacio Meléndez Pastor, por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo bajo su dirección, y por su apoyo y ayuda a la hora de realizar este TFG. He aprendido mucho estos meses y en gran parte ha sido gracias a él.

Al Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente por facilitar los medios necesarios para desarrollar este trabajo de investigación.

Por supuesto a mis amigos Rosa y Andy y a mi familia por ayudarme, apoyarme y hacerme seguir adelante. En especial a mi madre por el sacrificio que hace día a día, por esforzarse para poder estar en donde estoy y demostrarme que soy lo más importante para ella.



## Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
1.1. TEJADOS VERDES.....	5
<b>2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>3. MEMORIA DEL PROYECTO.....</b>	<b>9</b>
3.1. UBICACIÓN DE LA ACTUACIÓN .....	9
3.2. SUPERFICIE DISPONIBLE Y ESTRUCTURA SOBRE LA QUE UBICARSE.....	11
3.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS .....	12
3.4. VENTAJAS TÉCNICAS DE LOS TEJADOS VERDES FRENTE A LOS TEJADOS TRADICIONALES. ....	15
3.5. ESTRUCTURA DEL TEJADO VERDE .....	18
3.6. SELECCIÓN DE PLANTAS .....	22
3.7. RECREACIÓN EN 3D DEL TEJADO VERDE.....	32
3.8. PLAN DE MANTENIMIENTO.....	34
<b>4. CÁLCULOS .....</b>	<b>34</b>
<b>5. PRESUPUESTO .....</b>	<b>35</b>
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>37</b>

## 1. Introducción

La expansión de zonas urbanas es un proceso en continuo crecimiento. Actualmente, más de la mitad de la población mundial (55,7% en 2019) vive en zonas urbanas (World Bank, 2021) y dicha tendencia se espera que continúe en el futuro (UN DESA, 2018). Esta expansión de las zonas urbanas genera graves impactos ambientales, acelerando la pérdida de tierras agrícolas altamente productivas, afecta la demanda de energía, altera el clima, modifica los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, fragmenta los hábitats y reduce la biodiversidad (Seto et al., 2012).

Con la finalidad de reducir algunos de los impactos ambientales anteriormente mencionados, se están promoviendo a nivel mundial cambios en el modo de concebir las ciudades, mediante la implantación de Infraestructuras Verdes. La Comisión Europea hace referencia a que una *“infraestructura verde puede definirse, en términos generales, como una red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad tanto de los asentamientos rurales como urbanos”* (Comisión Europea, 2014).

Las infraestructuras verdes destacan por su capacidad para realizar diferentes funciones en un mismo espacio. Desde el punto de vista del desarrollo urbano, muchos de los elementos que contribuyen al establecimiento de infraestructuras verdes, están vinculados a la mejora de ciclo urbano del agua, en lo que se conoce en terminología australiana como *Water Sensitive Urban Desing* (Sharma et al., 2019), como *Low Impact Development* en estados unidos (Rossman, 2015) o el término *Sustainable Urban Drainage Systems* más comúnmente empleado en Europa (MITECO, 2019; Sharma et al., 2019). Más allá de matices terminológicos, el concepto común subyacente es el empleo racional de cuencas de bioretención, drenes filtrantes, pavimentos permeables, tanques de lluvia, tejados verdes, ..., como elementos fundamentales de estas infraestructuras verdes que permitan ciudades más sostenibles.

### 1.1. Tejados verdes

Los tejados verdes (*Green roofs*) son estructuras multicapa que permite el cultivo de plantas en la parte superior de un edificio, permitiendo de este modo crear nuevas zonas verdes en las ciudades, en donde la disponibilidad de suelo es muy baja. Estos “tejados vivos” pueden ser de tipo extensivo (*“Extensive green roofs”*), en los que la profundidad del suelo es pequeña y por

lo tanto limitan los tipos de plantas que se pueden utilizar (fundamentalmente plantas de poste rastrero o herbáceas), o de tipo intensivo (“*Intensive green roofs*”), cuyo suelo es mucho más profundo y pueden cultivarse plantas de porte arbóreo, pero son mucho más pesados, por lo que no todas las estructuras están diseñadas para soportar este tipo de tejado verde.

La aplicación de estas estructuras reporta múltiples beneficios, tanto ambientales, como económicos y sociales. Desde el punto de vista ambiental, en primer lugar, permiten crear nuevos hábitats para fauna y flora en zonas urbanas, pudiendo por un lado sustentar a los animales de la zona y por otro facilitar el paso de especies migratorias. Un ejemplo de la utilidad de los tejados verdes para la conservación de la biodiversidad en entorno urbanos, es el tejado verde de la academia de ciencias de California, situado en la ciudad de San Francisco, donde se incluyeron plantas que sustentaran a una especie de mariposa autóctona amenazada (*Euphydryas editha bayensis*) endémica de la Bahía de San Francisco (GSA, 2011). Además, como se pueden (y deben) utilizar plantas autóctonas en los tejados verdes, se pueden volver a introducir las especies que fueron eliminadas para la construcción de las ciudades, reduciendo un poco el impacto de la construcción de estas.

En segundo lugar, pueden ayudar a minimizar los problemas que causan las lluvias torrenciales. En el contexto de las zonas urbanas, donde el sellado del suelo y ausencia de infiltración es predominante, la inclusión de zonas permeables en el tejido urbano permite que el volumen de las escorrentías se reduzca considerablemente (Azis & Zulkifli, 2020). Pueden llegar a reducir en un 65% el caudal máximo de las escorrentías y aumentar el tiempo que tarda en llegar el agua de lluvia del tejado a las alcantarillas en hasta 3 horas (GSA, 2011), promoviendo por lo tanto un control efectivo las lluvias de tormenta. Además de este control hidrológico, los tejados verdes filtran el agua de lluvia, aumentando la calidad de las escorrentías superficiales, al reducirse el arrastre de contaminantes por dichas escorrentías (Gong et al., 2021). Esto es especialmente relevante en las zonas áridas y semiáridas, donde las lluvias de alta intensidad son frecuentes y el largo periodo entre eventos de precipitación propicia una gran acumulación de contaminantes en superficie, que serán posteriormente arrastrados por la escorrentía (Sharma et al., 2019)..

Por otro lado, la introducción de tejados verdes puede ayudar a regular las temperaturas tan elevadas que se producen en las ciudades, gracias a la evapotranspiración y a que los tejados verdes absorben menos radiación que los tejados tradicionales, pudiendo contribuir a atenuar el efecto de isla térmica de las zonas urbanas (USEPA, 2008). Los tejados verdes también pueden ayudar a mejorar la calidad del aire, ya que el aumento de la vegetación puede ayudar a mitigar

la gran cantidad de gases y partículas emitidos en las ciudades tanto por el tráfico como por la actividad de fábricas y similares (Liu et al., 2021).

Con respecto a los beneficios económicos, los tejados verdes pueden aumentar el ciclo de vida útil de las cubiertas de los edificios (Saiz et al., 2006), ya que protegen a estos tanto de la erosión como de las fluctuaciones de la temperatura, las cuales son comunes en los climas áridos (Tolderlund, 2010).

Pueden llegar a aumentar la eficiencia energética, debido a que pueden mejorar el aislamiento de los techos, disminuyendo la demanda de calefacción y refrigeración (Marvuglia et al., 2020), también pueden mejorar el rendimiento de los paneles solares, ya que al mantener una temperatura más constante en el tejado mejora la producción de energía de las placas solares y reduce la huella de carbono de estas instalaciones (Catalbas et al., 2021). La instalación, diseño y mantenimiento de tejados verde puede llegar a producir diversos puestos de trabajo.

Por último, en el aspecto social además de poder mejorar la estética de zonas urbanas los tejados verdes pueden proporcionar zonas en las que se produzca agricultura urbana, lo que aumentaría la producción de alimentos locales los cuales serían más accesibles que los de la agricultura tradicional. Además, los tejados verdes pueden mejorar la insonorización acústica de los edificios, ya que tienen una capacidad mayor en absorber sonido que un tejado convencional (Van Renterghem & Botteldooren, 2008; Yang & Jeon, 2020).

A pesar de los beneficios que aportan estas estructuras y de su extenso uso en otras zonas, su aplicación en los climas áridos y semiáridos es muy baja, debido a sus precipitaciones torrenciales, sus bajas precipitaciones anuales, su temperatura, el aumento de la radiación solar por la altura, sus vientos con gran velocidad y la gran cantidad de días soleados anuales. Esto hace que la introducción de tejados verdes en estas zonas sea especialmente complicada, por lo que se deben tener en cuenta estas características para su introducción en Elche.

## **2. Justificación y objetivos**

Los tejados verdes han sido usados en Europa durante más de 50 años y han aumentado su popularidad en Estados Unidos en los últimos 20 años (Lockett, 2009). Desafortunadamente, su uso en España es mucho menor que en otros países de Europa, como por ejemplo Alemania, país en donde comenzaron los estudios sobre la capacidad de retención de agua de los tejados verdes (Beecham et al., 2019) y uno de los primeros países en introducir de forma más generalizada este tipo de estructuras. De hecho, la presencia de tejados verdes es tan común, que

hay instalados tejados verdes en aproximadamente el 14% de los tejados planos en 2011 (GSA, 2011). Como contrapeso a la situación actual de escasa proliferación de tejados verdes en España, merece ser citado como un extraordinario proyecto de tejado verde, la sede del Banco Santander en Boadilla del Monte (Madrid), siendo considerado uno de los tejados verdes más grandes del mundo (Banco Santander, 2021a) y cuya vista panorámica se muestra en la **Figura 1**.



*Figura 1. Tejado verde en la Ciudad Grupo Santander en Boadilla del Monte, España. Fuente: Banco Santander (2021b)*

A pesar de los numerosos beneficios que los tejados verdes pueden aportar para una mejor gestión del agua de lluvia y la eficiencia energética, su uso es aún menor en los climas áridos y semiáridos (tanto dentro como fuera de España), por la dificultades de mantenimiento de la vegetación que se dan con respecto a otros climas (Tolderlund, 2010). Sin embargo, es precisamente en estas zonas de escasas e irregulares precipitaciones y generalmente altas temperaturas durante muchos meses al año, donde los tejados verdes pueden aportar grandes beneficios como infraestructuras verdes multifuncionales.

El objetivo del presente trabajo fin de grado, es promover la instalación de un tejado verde extensivo en la cubierta plana de la primera planta del edificio Alcudia, ubicado en el campus de Elche de la Universidad Miguel Hernández. En el presente documento se explican los

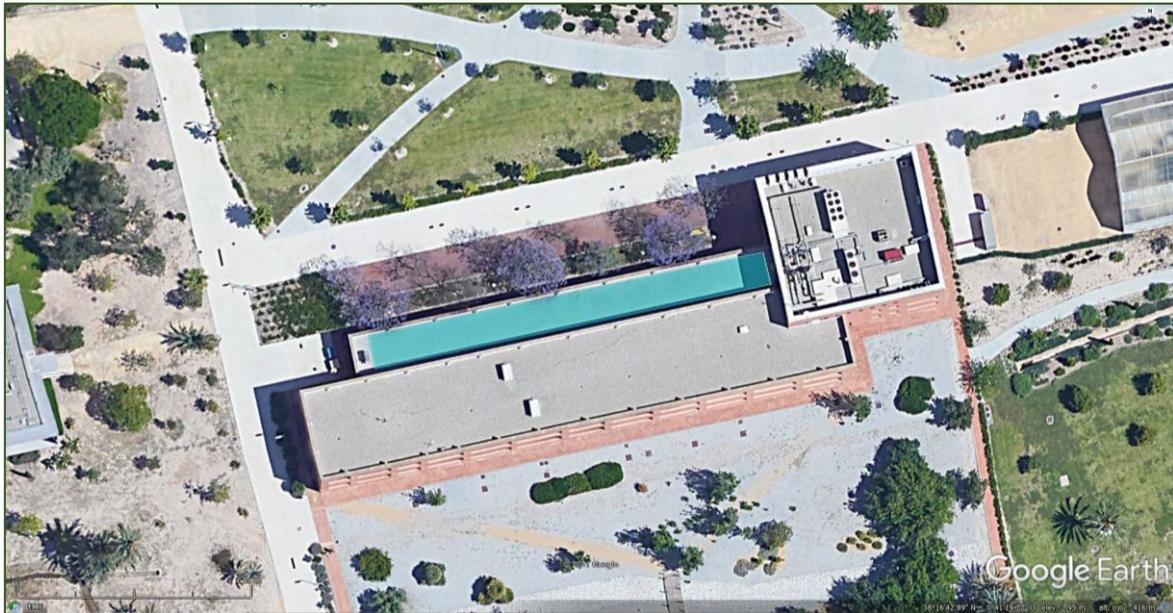
condicionantes climáticos y características de la ubicación elegida, se detalla la estructura y tipo de vegetación propuesta para la construcción del tejado verde, así como su plan de mantenimiento, además de plantear algunos cálculos básicos relativos a su construcción.

### **3. Memoria del proyecto**

El tejado verde propuesto es de tipo extensivo con vegetación xerófito, considerándose el más adecuado para dicha ubicación, tanto por el menor peso que tiene por unidad de superficie, permitiendo su instalación en sustitución de la actual cubierta de grava, como por los menores coste de construcción y mantenimiento. Este tipo de solución, puede resultar estéticamente menos impactante (positivamente desde el punto de vista estético) que un tejado verde de tipo intensivo, con una gran frondosidad de vegetación e incluso arboles de un tamaño moderado. Sin embargo, lo que se pretende es aportar una mejora al actual edificio sin necesidad de modificar su estructura, aspecto este que debería de considerarse en caso de que se hubiera planteado un tejado verde de tipo intensivo. Además, el elegir vegetación de tipo xerófito es más congruente con el objetivo de optimizar el aprovechamiento de agua de lluvia, dado que son especies adaptadas al régimen pluviométrico del sureste peninsular, por lo que sus necesidades de riego serían testimoniales y su coste de mantenimiento sería bastante reducido.

#### **3.1. Ubicación de la actuación**

La ubicación seleccionada para la instalación del tejado verde es la terraza de la primera planta del edificio Alcudia, situado en el campus de Elche de la Universidad Miguel Hernández de Elche, Alicante (**Figura 2**).



*Figura 2. Vista aérea del edificio Alcudia en el campus de Elche. Sombreado en azul celeste se muestra la ubicación y extensión aproximada del tejado verde propuesto. Fuente: imagen aérea obtenida de Google Earth Pro.*

Los motivos para elegir esta ubicación se fundamentan en los siguientes aspectos:

- Es una superficie de extensión moderada, adecuada por lo tanto para una instalación experimental dentro del campus, con el objetivo de evaluar su funcionamiento y viabilidad económica.
- Tiene un acceso fácil para facilitar las labores construcción, aprovisionamiento de materiales, supervisión y mantenimiento.
- Es una terraza visible para una gran cantidad de usuarios (**Figura 3**), tanto desde despachos, escaleras de acceso o salas de reuniones, permitiendo de este modo que esta infraestructura verde sea accesible (al menos visualmente) para las personas, objetivo este ineludible de una infraestructura verde multifuncional.



**Figura 3** Modelo en 3D del edificio Alcudia. El sombreado azul celeste muestra la ubicación y extensión aproximada del tejado verde propuesto. Nótese la gran cantidad de estancias desde las que se puede visualizar a través de las ventanas el tejado verde propuesto. Fuente: elaboración propia a partir del modelo base del edificio desarrollado por la UMH.

Es sin lugar a dudas una primera ubicación experimental para la instalación de un tejado verde, pero lo ideal sería que este tipo de instalaciones proliferaran por el resto de edificios de los campus de la Universidad Miguel Hernández de Elche, tanto por los beneficios ambientales, sociales y económicos que aportan, como por la labor de difusión del conocimiento y ejemplo para el conjunto de la sociedad que puede promover la universidad.

### 3.2. Superficie disponible y estructura sobre la que ubicarse.

La superficie en la que vamos a realizar el estudio es en una cubierta de grava (**Figura 2**), la cual tiene una superficie disponible de alrededor de 300 m<sup>2</sup> (dimensiones de superficie libre aproximada: 50m x 6m) de los cuales 225 m<sup>2</sup> (45m x 5 m) formarían parte del tejado verde y el resto serán zonas sin vegetación, imprescindibles para el acceso y mantenimiento del propio tejado verde (Tolderlund, 2010).

Atendiendo a las características de la cubierta en la que se propone la actuación, según la categorización del Código Técnico de Edificación (CTE) de Seguridad Estructural (CSIC-MITMA, 2009), dicha superficie se podría encuadrar en la categoría de uso G “Cubiertas accesibles únicamente para conservación”, subcategoría G1 “Cubiertas con inclinación inferior a 20°”. Para dicho tipo de cubierta, los valores característicos de sobrecargas de usos son los siguientes:

- **Carga uniforme** = 1 kN/m<sup>2</sup> equivalente aproximadamente a 103 kg/m<sup>2</sup>

- **Carga concentrada** = 2 kN aplicada sobre el pavimento acabado en una superficie de 50 mm de lado.



*Figura 4. Fotografía del acceso desde la planta primera a la cubierta en la que se plantea la instalación del tejado verde. Fuente: elaboración propia.*

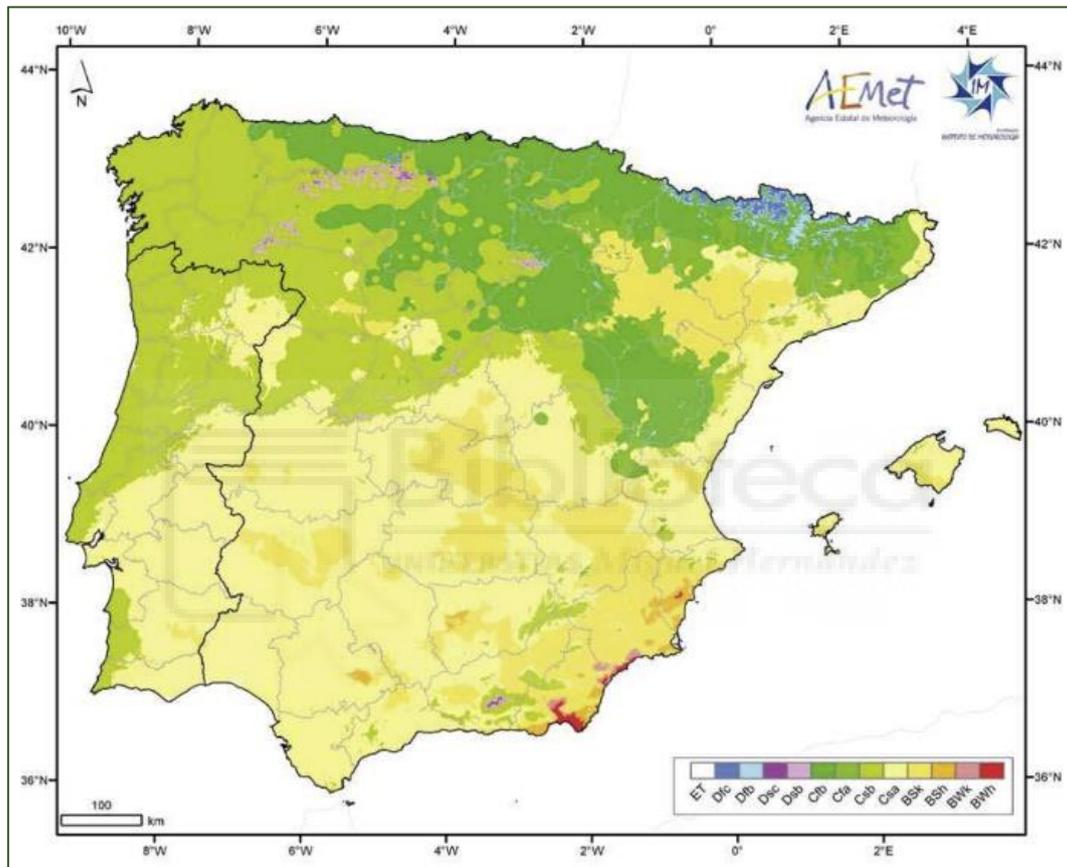
Estos condicionantes estructurales son absolutamente imprescindibles de cumplir con la elección del tejado verde, dado que bajo ningún concepto se puede comprometer la integridad estructural y seguridad de las personas, con la instalación del tejado verde. Por lo tanto, sería necesario sustituir la actual terraza de grava por el tejado verde en aquellas zonas donde vaya a instalarse.

### 3.3. Condiciones climáticas

El clima mediterráneo semiárido-árido característico del sureste peninsular (**Figura 5**), constituye el clima más seco no solo de la Península Ibérica sino del conjunto de la Europa continental. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 15,5 y 19°C. Los promedios de máximos anuales son notablemente altos, entre 20,5°C y 24,4°C. Los registros medios de las mínimas son moderadamente suaves, no bajando de los 10.6 en el interior, con puntuales

heladas invernales, y de hasta 14°C en los emplazamientos costeros más cálidos. Todos los promedios son los mayores de la región de climas del sudeste (AEMET-IMP, 2011).

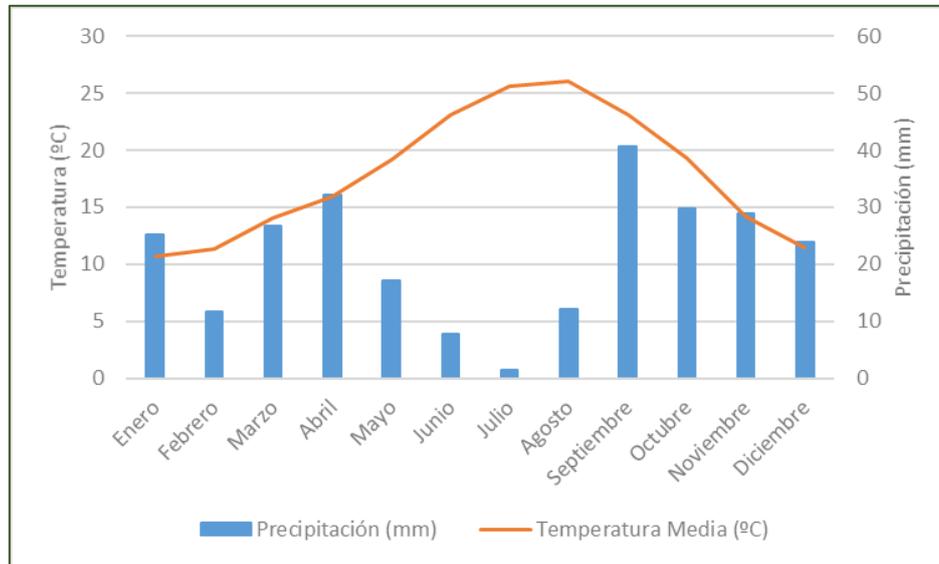
Los registros pluviométricos en general quedan por debajo de 350 mm/año, alcanzando el umbral de la aridez, menos de 200 mm/año, en determinados puntos. El régimen torrencial de las lluvias, con un máximo otoñal muy marcado, y extrema sequedad de los meses estivales encajan en el modelo pluviométrico propio del macroclima Mediterráneo (Gómez-Zotano et al., 2015).



*Figura 5. Clasificación climática de Köppen-Geiger en la Península Ibérica y Baleares. Fuente: AEMET-IMP (2011)*

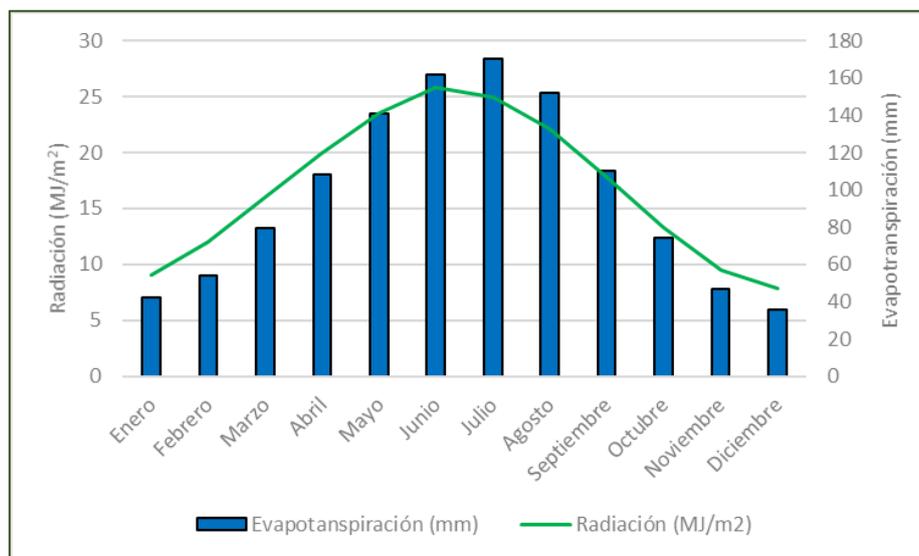
Según los datos de Elche de los últimos 21 años obtenidos del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR; MAPA, 2021), su clima es mediterráneo semiárido con temperaturas medias anuales de 17,8°C que suelen oscilar entre 6°C y 31°C, con inviernos suaves con temperaturas medias alrededor de los 11°C en enero, y veranos muy cálidos y secos con temperaturas medias superiores a los 25°C en julio y agosto (**Figura 6**). Las heladas son muy puntuales y no suelen ser de alta intensidad. Las lluvias son escasas, con alrededor de 260 mm al año, las cuales se concentran en primavera y en otoño, con precipitaciones muy

bajas en verano. Estas precipitaciones, que pueden no producirse durante largos periodos de ausencia intra-anual e inter-anual, suelen caer de forma torrencial.



**Figura 6.** Climograma de Elche. Temperatura y Precipitación (1999-2020). Fuente: elaboración propia partir de datos del SIAR (MAPA, 2021).

La evapotranspiración (**Figura 7**) suele superar a las precipitaciones durante todo el año, por lo que la zona se encuentra en un déficit hídrico constante (MAPA, 2021). Además, el gran número de días despejados propicia que el nivel de radiación solar incidente sea muy elevado a lo largo de todo el año, especialmente durante los meses estivales.



**Figura 7.** Climograma de Elche. Radiación y evapotranspiración (1999-2020). Fuente: elaboración propia partir de datos del SIAR (MAPA, 2021).

Las características del clima de Elche hacen que la instalación de tejados verdes sea una opción más que válida, en primer lugar, las altas temperaturas de la zona y gran evapotranspiración serían reducidas por el aumento de la vegetación. Por otro lado, las bajas precipitaciones limitan mucho el uso del agua por lo que no se debe derrochar y la intensidad de estas cuando ocurren puede minimizarse con la retención del agua de lluvia en los tejados verdes.

### 3.4. Ventajas técnicas de los tejados verdes frente a los tejados tradicionales.

A la hora de analizar los distintos tipos de tejados para comparar las ventajas de cada uno de ellos, los hemos separado a todas las superficies en tres grupos, siendo estos los tejados tradicionales o tejados negros, los tejados blancos y los tejados verdes.

- **Tejados negros**

Los tejados tradicionales son comúnmente conocidos como tejados negros, debido a ser el color más utilizado. Los tejados actuales provienen de los “*tar beach roofs*”, tejados en los que se utilizaba alquitrán, los cuales eran comunes en zonas urbanas. Los tejados actuales aún están basados en el petróleo, ya sean de láminas bituminosas modificadas o caucho sintético como material que aporta impermeabilización de la cubierta.

Los tejados negros absorben grandes cantidades de radiación solar, pudiendo llegar a alcanzar temperaturas tan altas como 65°C (150°F) en verano. Durante las lluvias intensas y tormentas, las escorrentías llegan directamente a las alcantarillas, debido a la muy baja capacidad de retención de estas estructuras (GSA, 2011). Este problema es más grave si cabe en sistemas de alcantarillado unitaria, en los que las aguas residuales se mezclan con las aguas de escorrentía superficial, propiciando graves problemas en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), que pueden llegar a recibir cantidades de agua que sobrepasan su caudal máximo de diseño, lo que propicia que tengan que desviarse (*by pass*) grandes caudales de agua sin tratar, que deben de ser vertidos a los cauces naturales a fin de preservar la integridad de la instalación.

- **Tejados blancos**

Los tejados blancos, también llamados *Cool roofs* o *White roofs*, están formados por materiales de colores claros, materiales reflectantes o ambos, los cuales no se calientan tanto

como los tejados negros en el Sol, ya que son capaces de reflejar una porción muy significativa de la radiación solar incidente (**Tabla 1**). Sin embargo, siguen teniendo los mismos problemas con las escorrentías que los tejados oscuros, por lo que, si bien son adecuados para reducir las necesidades de gasto energético para climatización del edificio en los meses cálidos, no contribuyen a una mejora del ciclo del agua urbano.

*Tabla 1. Albedo de diversos tipos de cubiertas presentes en zonas urbanas. Fuente: GSA (2011)*

<b>MATERIAL</b>	<b>ALBEDO</b>
<b>Ladrillo</b>	0,20 - 0,40
<b>Tejas</b>	0,10 - 0,35
<b>Hormigón</b>	0,10 - 0,35
<b>Alquitrán/grava</b>	0,08 - 0,18
<b>Asfalto</b>	0,05 - 0,20
<b>Tejados blancos</b>	0,75 - 0,80+
<b>Vegetación/tejado verde</b>	0,25 - 0,30

A pesar de que los tejados blancos también pueden ayudar a reducir el efecto de islas de calor urbanas y por lo tanto reducir el consumo en refrigeración en verano, lo hacen de manera muy distinta. Los tejados blancos reflejan la mayoría de la luz que llega a su superficie, esto puede provocar que reflejen la luz del sol en otras superficies, provocando un aumento de temperatura en esas zonas de manera no intencionada. Además, los tejados blancos pierden efectividad a lo largo del tiempo, causado por la deposición de tierra y partículas en este, que provocan una disminución del albedo del tejado, por lo que reflejan menor cantidad de luz. Este proceso es especialmente prominente en zonas de emisiones de partículas como el hollín, por lo que los tejados blancos deben limpiarse continuamente para funcionar adecuadamente (GSA, 2011).

- **Tejados verdes.**

Los tejados verdes tienen un albedo más reducido que los blancos, por lo que en vez de reflejar la mayor parte de la radiación solar que reciben, la radiación solar es en gran parte utilizada por la vegetación para la fotosíntesis, desprendiéndose parte de la energía térmica mediante evapotranspiración, también llamada pérdida de calor latente, contribuyendo al control de la temperatura del edificio (USEPA, 2008). A pesar de esto, los tejados blancos pueden llegar a superar a los verdes en la reducción de las islas de calor urbano en ciertos

lugares aunque no suele ser lo común (GSA, 2011), y además los tejados verdes aportan otros servicios ecosistémicos más allá de la atenuación de las islas de calor.

Existen gran cantidad de experiencias de instalación de tejados verdes que atestiguan los beneficios anteriormente mencionados. Por ejemplo, un estudio usando como modelo un edificio residencial de ocho plantas localizado en Madrid, concluyo que el uso de tejados verdes reduciría el consumo anual de energía del edificio en un 1,2%, siendo la principal reducción en el uso de refrigeración en verano, siendo esta de un 6% del consumo total (Saiz et al., 2006).

Otro aspecto de debate ha sido si conviene más instalar tejados verdes o placas solares. Experiencias recientes demuestran que ambas instalaciones pueden coexistir. De hecho, ciertos estudios apuntan a que los tejados verdes pueden mejorar la producción energética de las placas solares, ya la bajada de temperatura que producen en el tejado mejora la eficiencia de las placas (Tolderlund, 2010). Esto se ha demostrado en la ciudad de Berlín en Alemania o en la ciudad de Portland en Oregón, en donde se ha observado que ha aumentado en hasta un 6% en la producción energética (GSA, 2011).

Como conclusión, debido a que el agua de lluvia en las ciudades (cuya construcción es anterior a 1930) termina en las alcantarilla, tal y como se ha mencionado anteriormente, estas se mezclan con las aguas residuales (sistemas de alcantarillado unitarios), dependiendo de la intensidad de las precipitaciones estas pueden llegar a producir un caudal que supere la capacidad que tienen las plantas de tratamiento de aguas residuales, por lo que el exceso es vertido aunque esta agua no se haya tratado (GSA, 2011). Estas caudalosas escorrentías también pueden afectar tanto a estructuras humanas como naturales causando erosión, inundaciones, etc. Los tejados verdes pueden minimizar los problemas que producen las escorrentías ya que aumentan la superficie permeable de la ciudad, retrasando así el flujo del agua. Los tejados tradicionales por otro lado no tienen esta capacidad de control de ciclo hidrológico.

Por último, se ha mencionado anteriormente los tejados verdes pueden mejorar el aislamiento de un tejado, además de disminuir la radiación absorbida por el tejado y por lo tanto bajando la demanda de refrigeración y calefacción, además puede llegar a aumentar entre 2,5 y 3 veces la esperanza de vida del propio tejado debido al menor desgaste de los materiales al estar protegidos de la radiación solar incidente por la cubiertas de suelo y vegetación que constituye el tejado verde (Tolderlund, 2010).

### 3.5. Estructura del tejado verde

La estructura de un tejado verde se divide en un conjunto de capas, cada una de ellas con distinta función, y constituidas por materiales diferentes, que en su conjunto determinará la eficacia del tejado verde, ya que con que solo una de ellas no funcione correctamente afectará a toda la estructura.



Figura 8. Capas típicas de un tejado verde. Fuente: Tolderlund (2010).

Cada capa se coloca en un orden específico para poder funcionar con la mayor eficiencia. Las capas (desde la más inferior a la más superficial) son las siguientes (Tolderlund, 2010):

- **Membrana impermeable (*Waterproofing Membrane*)**

Es la parte más importante de un tejado verde desde el punto de vista de la conservación de la cubierta subyacente, cuyas funciones son el evitar que el agua penetre hasta el edificio y facilitar la escorrentía del agua. Tiene que ser capaz de soportar la presión del agua durante periodos largos de tiempo.

En los climas semiáridos es necesario considerar la durabilidad de la membrana durante tormentas y lluvias intensas donde una gran cantidad de precipitación puede ocurrir en un período corto de tiempo.

- **Barrera contra raíces (*Root Barrier*)**

Su función es proteger a la membrana impermeable al prevenir el paso de las raíces. El tipo más común de barrera contra las raíces es una lámina delgada de polietileno, colocada sobre la membrana impermeable. Esta barrera también debe ser resistente a los ácidos húmicos producidos cuando las plantas se descomponen. A veces se instalan láminas de separación entre la capa de impermeabilización y la barrera de raíz para proporcionar protección adicional (Beecham et al., 2019).

Esta capa es especialmente importante en los climas semiáridos debido a la agresividad de las raíces adaptadas a estos climas, cuya capacidad de penetración en el subsuelo en busca de agua es extraordinaria.

- **Capa de protección (*Protection Board*)**

Capa que protege la membrana antes de que esté finalizada la construcción del tejado verde. La membrana impermeabilizante es muy frágil y por lo tanto hay que evitar que se dañe o perfore. Los materiales más utilizados son fibras sintéticas de poliéster y polipropileno densas, resistentes y permeables al agua. La capa de protección se instala directamente sobre la capa impermeable como membranas resistentes a las raíces o sobre la parte superior de la capa de barrera contra la raíz, proporcionando una mayor protección contra la penetración de las raíces, además de doblar la separación entre las capas. (Beecham et al., 2019)

- **Drenaje (*Drainage*)**

Los sistemas de drenaje de techos verdes se pueden dividir en dos clases: drenajes agregados y drenajes geocompuestos. Estos pueden combinarse o usarse por separado junto con las salidas de drenaje.

Los drenajes agregados están compuestos de grava, lava y piedra pómez, arcilla expandida y pizarra, y materiales reciclados como tejas o ladrillos triturados.

Los desagües geocompuestos son desagües constituidos por dos o más materiales, uno de los cuales es de tipo geosintético. Dependiendo del producto elegido, la capa de drenaje a menudo puede tomar el peso de un tránsito peatonal o incluso vehicular, con una vida útil de 50 años.

La capa de drenaje está unida a un conjunto de tuberías, desagües, etcétera. La función principal de la capa de drenaje es eliminar el exceso de agua de la lluvia lo más rápido posible

y rellenar los almacenes externos para uso futuro en el riego o eliminar el exceso de agua. (Beecham et al., 2019).

Es una capa que necesita mantenimiento ya que necesita estar libre de cualquier material que puede alterar su correcto funcionamiento.

- **Tapajuntas (*Flashings*)**

El sellado en los puntos de penetración, intersección y finalización del tejado verde es vital para evitar tanto fugas como el paso de las raíces. La barrera contra raíces también debe estar sellada con tapajuntas, ya que con el tiempo suficiente en su búsqueda de humedad y nutrientes intentarán expandirse más allá del medio de cultivo.

Los tapajuntas deben estar hechos de materiales resistentes a la corrosión como el acero inoxidable.

- **Membrana filtrante (*Filter Fabric*)**

La membrana filtrante está formada de un material ligero y duradero que evita la filtración de partículas en el sistema de drenaje y actúa como una barrera protectora para evitar atascos.

- **Medio de cultivo (*Growing Medium*)**

El medio de cultivo es la capa que sustenta a la vegetación en el tejado verde, pudiendo llegar a ser considerado un tecnosuelo, incluso con capacidad de producción agrícola en entornos urbanos (Harada & Whitlow, 2020). Un medio de cultivo óptimo está compuesto por entre un 80% - 90% de agregados inorgánicos ligeros y entre un 20% - 10% de materia orgánica. El primero proporciona un medio poroso para el correcto intercambio de agua y gas, mientras que la materia orgánica proporciona suministro y retención de nutrientes, además de promover un medio óptimo para el correcto crecimiento de las raíces (Beecham et al., 2019).

Las características del medio cambiarán acorde a las necesidades de las plantas que se vayan a utilizar, además de ser al mismo tiempo una capa ligera para evitar el exceso de peso en el tejado. Hay que tener en consideración que no solamente hay que tener en consideración el peso de suelo seco, sino también el peso adicional del agua retenida en el mismo, que sin lugar a dudas contribuye a aumentar el peso total de esta capa.

- **Vegetación**

La selección de plantas del tejado verde es la parte con más variación entre cada uno de ellos, ya que la selección se realiza teniendo en cuenta el objetivo que va a tener la implementación de esta estructura, ya esté más orientado a la estética, a la explotación o a la protección del tejado. Además, hay que tener en cuenta por un lado la limitación por el espacio disponible que van a tener las raíces y por otro lado en qué condiciones atmosféricas van a sufrir a la hora de seleccionar las plantas adecuadas, ya que su supervivencia y por lo tanto el éxito del tejado verde depende en gran parte de esto.

- **Riego**

Las condiciones que pueden sufrir los techos verdes en los climas semiáridos y áridos son a veces extremadamente desafiantes. La vegetación tiene que combatir vientos fuertes, fluctuaciones extremas de temperatura y condiciones de sequía.

Algunas plantas resistentes a la sequía pueden sobrevivir sin agua suplementaria, una vez establecidas. Sin embargo, es muy seguro que sea necesario incluir el riego en las primeras etapas de las plantas, o para periodos de sequía intensa.

Un sistema de riego (temporal y / o permanente) debe ser parte integral del éxito del diseño y el riego adicional en épocas de calor extremo y sequía será necesario casi con total probabilidad.

Además de estas capas, que son consideradas obligatorias en cualquier tejado verde, también hay otras que son opcionales, como pueden ser (Tolderlund, 2010):

- **Capa de Insolación**

Las plantas de los tejados verdes con baja profundidad son especialmente vulnerables a daños en las raíces por heladas, por lo que en zonas de estas características es necesaria la instalación de una capa de insolación, la cual suele estar sobre la membrana impermeable.

- **Capa de Retención de agua**

Es una capa que capta el agua y retiene la humedad emitida al medio de cultivo por evapotranspiración. Es capaz de aumentar la capacidad de retención de agua de la capa de drenaje y aumentar el rendimiento del sistema de riego.

- **Capa de Control de la erosión**

En tejados verdes inclinados a veces es necesaria la existencia de una capa de protección a la erosión, sobre todo en zonas donde se está introduciendo vegetación, zonas sin plantar o con vientos intensos.

- **Zonas libres de vegetación**

En distintas zonas del tejado verde es recomendable la ausencia de vegetación, tanto alrededor del tejado verde como en drenajes, tapajuntas, etc. Estas zonas ayudan a la prevención de incendios, a prevenir el daño que pueden ocasionar las raíces en ciertas zonas y facilitan el mantenimiento del tejado verde.

En nuestro tejado verde solamente vamos a instalar zonas libres de vegetación debido a las limitaciones de peso del tejado verde. Además, el tejado en el que se va a instalar la estructura verde no es inclinado y a que según los datos de la estación meteorológica Elche, las heladas en la zona no son algo habitual, por lo que la capa de insolación y la capa de control de la erosión son innecesarias en este tejado verde.

### **3.6. Selección de plantas**

Con respecto a las consideraciones generales a la hora de la selección de plantas en cualquier tejado verde extensivo, el primero objetivo es conseguir que la vegetación comience su desarrollo en un periodo corto de tiempo. También deben ser plantas adaptadas a un sustrato limitado, ya que generalmente los tejados verdes extensivo tienen un sustrato entre 3 y 6 pulgadas (unos 8-16 cm) de profundidad (lo que descarta arbustos grandes y árboles), y a las exigentes condiciones que hay en los tejados de las ciudades.

La utilización de plantas autóctonas no suele ser la norma, ya que se recomiendan especies que, aunque no sean de la zona puedan ser más rentables tanto en sentido económico como funcional. Sin embargo, el uso de especies autóctonas en los tejados verdes tiene ventajas muy superiores a las no nativas, ya que las propias plantas autóctonas ya están adaptadas a la climatología, el espacio obtenido con los tejados verdes se puede utilizar para reducir el impacto creado por la edificación, especies vulnerables o en peligro de extinción se pueden desarrollar en estas estructuras, o las propias plantas pueden nutrir a especies vulnerables, etc. Además es conocido que el uso de plantas que son comunes a nivel local fomenta la rápida colonización

del techo por parte de especies nativas de insectos (GSA, 2011), lo que facilita la integración del tejado verde con su entorno.

La utilización de especies no nativas puede llegar a conllevar riesgos ambientales, dado que introducir una especie con unas ventajas adaptativas tan superiores en comparación a las nativas, que pueda llegar a convertirse en una especie invasora.

Sin embargo, a pesar de que al seleccionar plantas autóctonas estas van a estar adaptadas a las condiciones climáticas de la zona, las condiciones en la propia ciudad son muy diferentes a las afueras de esta, y además las condiciones en el tejado de un edificio pueden ser incluso más duras que a nivel del suelo, dependiendo mucho de la altura y la orientación del propio tejado, por lo que una planta autóctona a las condiciones de una zona no tiene por qué garantía de éxito en la instalación del tejado verde (Tolderlund, 2010). Sin embargo, desde mi punto de vista hay que intentar promover el uso de especies nativas en la medida de lo posible.

El uso de una gran diversidad de especies ha demostrado favorecer la supervivencia de las plantas y es estéticamente mucho más llamativo que un tejado verde con un único tipo de especie (Ondoño Tovar, 2015). En este sentido, un estudio reciente analizó 12 especies de los grupos taxonómicos más comunes en los tejados verdes, evidenciándose que la mayor supervivencia y calidad visual se dio en un modelo con especies variadas y un riego escaso (cada 3 semanas) (Beecham et al., 2019) . Además la existencia de una variedad de especies atrae también a una gran variedad de especies de fauna, por lo que en el sentido de biodiversidad los tejados verdes con especies variadas superan fácilmente a los de monocultivos (GSA, 2011), lo que a gran escala puede tener un gran efecto positivo con respecto a enfermedades y plagas vegetales.

Como se ha mencionado anteriormente, la capa de vegetación es la más variada entre cada tejado verde, ya que depende tanto de las condiciones en donde se va a instalar como del objetivo que va a cumplir. En primer lugar, debido a las condiciones meteorológicas de Elche las plantas deben ser capaces de soportar las altas temperaturas de la ciudad y deben tener una baja necesidad de agua para evitar riegos adicionales. Por otro lado, con respecto a la función del tejado verde en nuestro caso el objetivo es un tejado verde lo más funcionalmente posible con las características del edificio en el sentido de reducciones de escorrentías y de mejora de la eficiencia energética.

La selección de plantas se ha realizado teniendo lo anterior en cuenta, y mediante la consulta de varios estudios y de catálogos de la biodiversidad del municipio de Elche (Aranda López et

al., 2018) se ha concluido que las siguientes especies son viables en la instalación de un tejado verde en la ciudad de Elche:

- *Sedum* (*S. acre*, *S. album*, *S. dasyphyllum*, *S. sediforme*)

Son plantas suculentas que pertenecen a la familia *Crassulaceae*. Su pequeño sistema radicular las hace una opción óptima, además son conocidas por su alta resistencia a las altas temperaturas, su uso eficiente del agua y su tolerancia a sequías extremas (Ondoño Tovar, 2015), pudiendo sobrevivir muchas semanas sin riego en condiciones favorables (Beecham et al., 2019). En un estudio en el que 5 plantas suculentas se sometieron a una alta sequía, las que no pertenecían al género *Sedum* (*Disphyma crassifolium* y *Carpobrotus modestus*) murieron como mínimo 15 días antes que las 3 especies de *Sedum* (*S. pachyphyllum*, *S. clavatum*, *S. spurium*) (Beecham et al., 2019). *Sedum* junto con otras suculentas pueden resistir una pequeña exposición a tráfico peatonal con respecto a otras plantas, sin embargo el caminar sobre el tejado verde debe ser únicamente para su mantenimiento (GSA, 2011).

Las especies de plantas dentro de este género son las más utilizadas en los tejados verdes y normalmente son las únicas especies adecuadas para tejados verdes extensivos muy delgados (GSA, 2011).

**Nombre científico:** *Sedum acre* L.

**Nombre común:** Uña de gato

**Familia:** *Crassulaceae*

**Altura máxima:** 18 cm



### **Descripción general**

Planta perenne, glabra, a veces procumbente, verdosa. Raíces numerosas, la principal más o menos desarrollada. Ceba leñosa, generalmente bajo tierra. Tallos estériles, muy abundantes. Hojas triangular-ovadas, oblongas o hasta subsféricas, siempre más anchas hacia la base, de color verdoso o verde-amarillento. Inflorescencia cimosa, de hasta 20 flores, con ramas divergentes. Flores pentámeras, sésiles. Pétalos de tamaño generalmente doble que el de los sépalos, de color amarillo intenso. Estambres 10, anteras amarillas. Semillas reticuladas, ápice agudo.

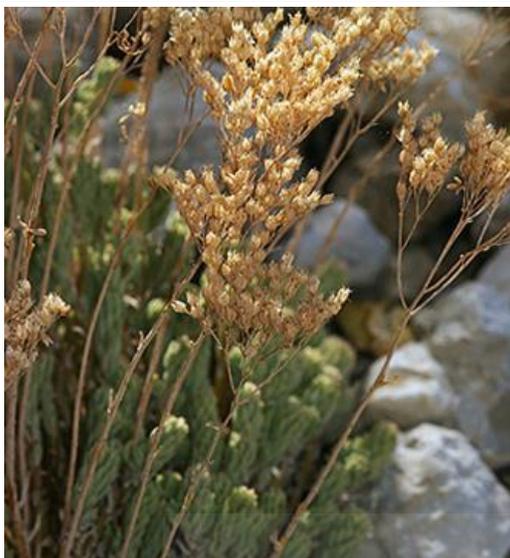
**Distribución natural:** Dispersa por toda la península, poco abundante en el suroeste peninsular.

**Nombre científico:** *Sedum album* L.

**Nombre común:** Uva de gato

**Familia:** *Crassulaceae*

**Altura máxima:** 30 cm



### **Descripción general**

Planta perenne, multicaule, cundidora, glabra o papilosa en la base, verde, aunque manchada de rojizo. Raíces delgadas, abundantes. Cepa más o menos leñosa, muy dividida. Tallos erectos, enteros. Hojas sésiles, alternas, glabras, verdosas o cenicientas, cilindro-ovoideas, carnosas. Inflorescencias con flores pentámeras. Pétalos libres, blancos, a veces teñidos de rosa o con franjas longitudinales purpúreas. Estambres 10, anteras de un violeta oscuro. Semillas diminutas, pardas, ápice agudo.

**Distribución natural:** Dispersa por toda la península

**Nombre científico:** *Sedum dasyphyllum* L.

**Nombre común:** Arroquetas

**Familia:** *Crassulaceae*

**Altura máxima:** 15 cm



### **Descripción general**

Planta perenne, cespitosa, verde o glauca, de glabra a densamente glanduloso-papilosa o pubescente. Raíz principal más o menos desarrollada, y en los renuevos abundante raíces muy finas. Tallos numerosos, ascendentes, poco divididos. Hojas de ovoides a suborbiculares, plano-convexas, con una giba basal. Flores pentámeras o hexámeras. Pétalos soldados en la base, de un blanco sucio o violáceos, a veces con tintes azulados. Estambres 10-12, filamentos blanquecinos, anteras de un violeta oscuro. Semillas diminutas, apiculadas, ápice agudo.

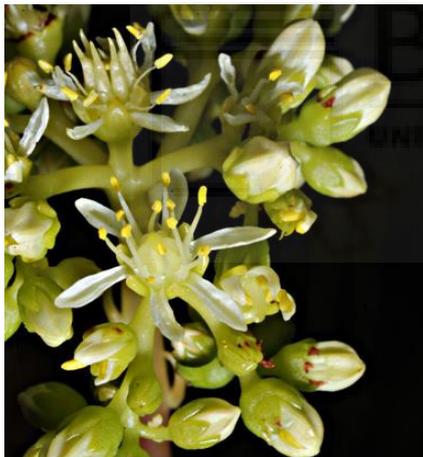
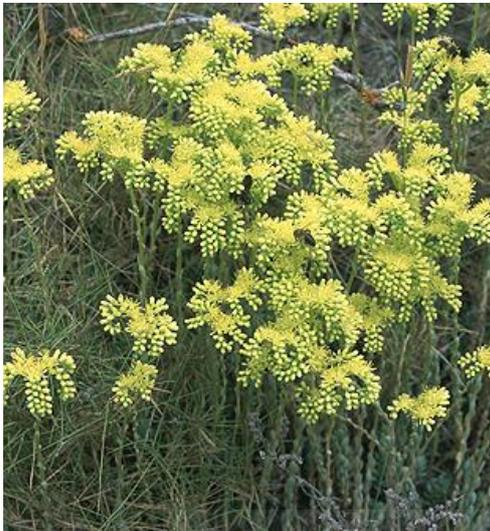
**Distribución natural:** Dispersa por casi toda la península, más abundante en la costa del mediterráneo y norte peninsular.

**Nombre científico:** *Sedum sediforme* (Jacq.) Pau.

**Nombre común:** Uva de gato

**Familia:** *Crassulaceae*

**Altura máxima:** 60 cm



### Descripción general

Planta perenne, glabra, glauca, grisácea, verdosa o parda. Raíces finas, que nacen de los tallos postrados. Tallos más o menos leñosos en la base, con hojas caedizas. Hojas generalmente de ovalo-lanceoladas a elípticas, más o menos carnosas. Inflorescencias cimosa o corimbosa, con las ramas curvadas hacia fuera en la fructificación, formando un conjunto cóncavo. Flores de pentámeras a octámeras, pétalos libres, de color amarillo pálido o cremoso. Estambres en doble número que los pétalos. Semillas oblongas, testa acostillada, ápice agudo.

**Distribución natural:** En toda la península, rara en el Noroeste.

- Plantas no suculentas ni *Sedum*

Las plantas suculentas son generalmente la opción más apropiada para los tejados verdes extensivos. Sin embargo, hay una amplia gama de herbáceas perennes y especies anuales también presentan las adaptaciones necesarias a la sequía, especialmente algunas especies endémicas del mediterráneo. Además las plantas herbáceas son más efectivas que las especies de *Sedum* en la reducción de la escorrentía de agua de los techos verdes y en el aislamiento térmico de edificios (Ondoño Tovar, 2015).

**Nombre científico:** *Silene vulgaris* subsp. *vulgaris* (Moench) Garcke.

**Nombre común:** Colleja, conejera

**Familia:** *Caryophyllaceae*

**Altura máxima:** 80 cm



**Descripción general**

Planta glabra, a veces estolonífera. Raíz gruesa, tuberosa. Tallos erectos, fuertes, blanquecinos o verdosos en la mitad inferior. Hojas coriáceas, agudas, las inferiores, pecioladas, oblanceoladas; las medias, sésiles, lanceoladas. Inflorescencia en general multiflora. Corola frecuentemente zigomorfa, blanca o rosa pálido. Pétalos glabros. Semillas tuberculantes.

**Distribución natural:** Dispersa por casi toda la península.

**Nombre científico:** *Lagurus ovarus*

**Nombre común:** Cola de liebre

**Familia:** *Gramineae*

**Altura máxima:** 80 cm



**Descripción general**

Planta anual, terófito, de color grisáceo y pubescente. Los tallos son erectos o ascendentes, simples o ramificados desde la base. Las hojas son blandas, pelosas y agudas provistas de una vaina inflada y una lígula obtusa o truncada, más o menos lacerada y también tomentosa. La inflorescencia es densa, ovoide o subcilíndrica a globosa. Las espiguillas, monofloras, están lateralmente comprimidas y las de la base de la panícula suelen ser estériles.

**Distribución natural:** Litoral atlántico y mediterráneo de la península, y de las islas Baleares y Canarias

**Nombre científico:** *Silene secundiflora* Otth

**Nombre común:** -

**Familia:** *Caryophyllaceae*

**Altura máxima:** 40 cm



**Descripción general**

Planta anual, puberulenta. Tallos ascendentes, retroso-pubérulos, vilosos por encima de los nudos. Hojas mucronadas, ciliadas en la base pubérulas en el resto; las inferiores, largamente pecioladas, de espatuladas a lineares. Inflorescencia monocasial, de hasta 10 flores. Pétalos bífidos, rosados, rara vez blanquecinos. Semillas planas, reticuladas

**Distribución natural:** Sur y Este de la península y las Baleares.

**Nombre científico:** *Crithmum maritimum* L.

**Nombre común:** Hinojo marino

**Familia:** *Umbelliferae*

**Altura máxima:** 45 cm



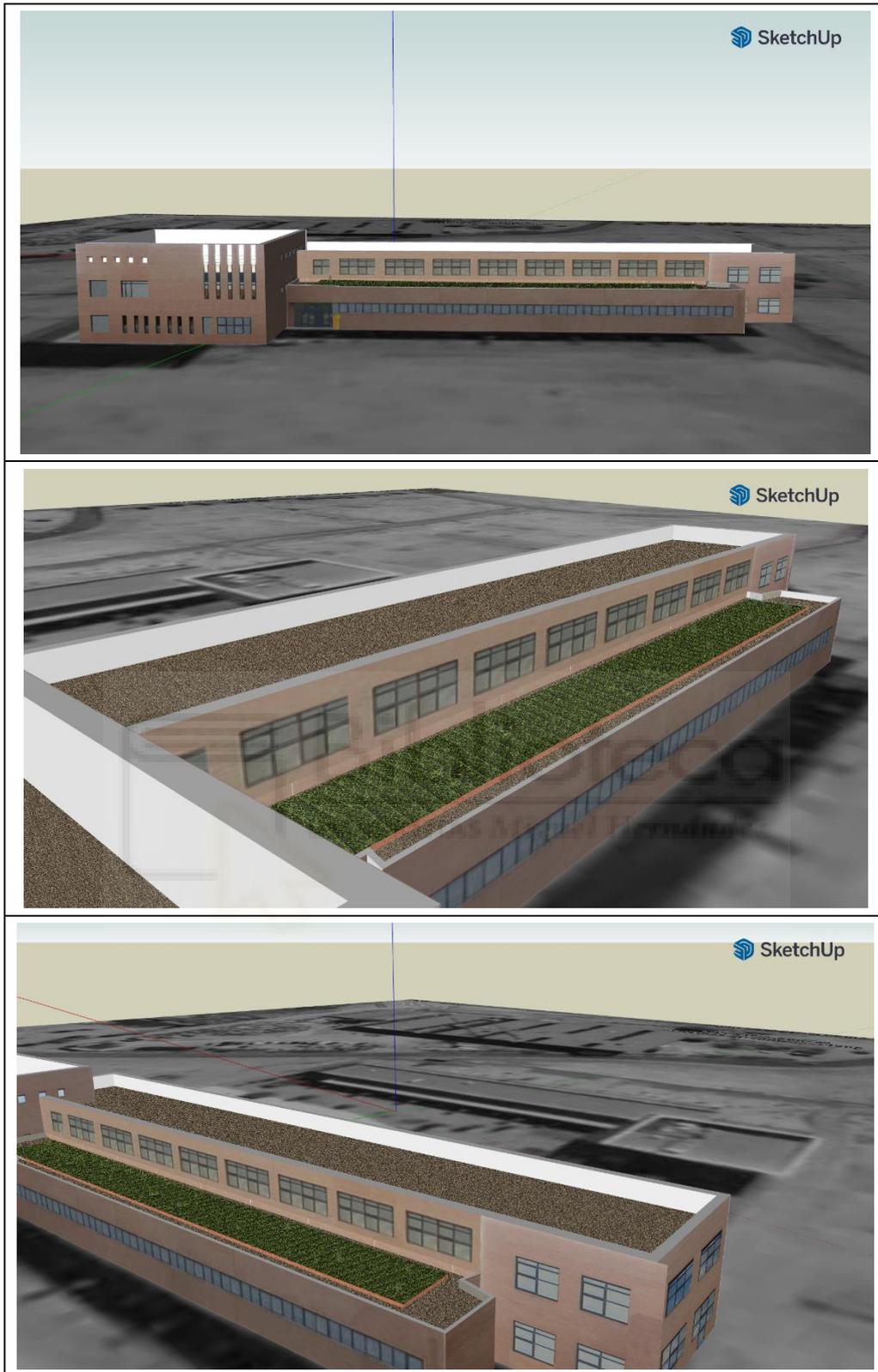
**Descripción general**

Hierba perenne. Tallos a menudo leñosos en la base, profusamente ramificados, sólidos, estriados. Hojas carnosas, de contorno triangular, agudas; hojas inferiores con pecíolos largos y vainas ligeramente abrazadoras; las superiores, poco más pequeñas que las inferiores, con pecíolos cortos y vainas que abrazan completamente el tallo. Umbélulas con la mayoría de las flores hermafroditas. Frutos con comisura ancha, lisos

**Distribución natural:** Litoral atlántico y mediterráneo de la península, y de las islas Baleares

### 3.7. Recreación en 3D del tejado verde

A fines ilustrativos, se ha realizado una recreación en 3D del aspecto aproximado que presentaría el tejado verde en su ubicación propuesta. Se ha utilizado el software de modelización en 3D SketchUp (Trimble Inc., Sunnyvale CA, EEUU) tomando como base un modelo del edificio Alcudia disponible en el repositorio del programa. No es una recreación hiperrealista del tejado verde. La finalidad de esta recreación es estimar el aspecto del edificio y del propio tejado verde si este fuera instalado, a fin de valorar su integración estética en el edificio. A continuación se muestran varias imágenes de este modelo (**Figura 9**).



*Figura 9. Imágenes de la recreación en 3D del aspecto del tejado verde propuesto. Fuente: elaboración propia a partir del modelo base del edificio desarrollado por la UMH.*

### 3.8. Plan de mantenimiento

El tejado verde va a requerir mantenimiento a lo largo de su vida útil, el cual se debe tener en cuenta antes de su construcción. También han de tenerse en consideración los productos adecuados para su mantenimiento y la planificación horaria de las actividades de mantenimiento, a fin de no afectar negativamente a las actividades propias del edificio en el que se ubica. El conjunto de acciones que normalmente se realizan en el mantenimiento de un tejado verde son las siguientes:

- Fertilización del suelo del tejado verde y aplicación puntual de pesticidas o (preferentemente) control biológico de plagas.
- Poda de las plantas del tejado verde y la gestión de los residuos generados por esta.
- Eliminación de malas hierbas de manera manual (preferentemente) o mediante la aplicación de herbicidas.
- Riego auxiliar del tejado verde, control del horario de riego y revisión del estado del sistema de riego.
- Limpieza de los drenajes, filtros, límites del tejado verde, caminos, etcétera.
- Revisión del estado de todas las partes del tejado verde.

## 4. Cálculos

Para calcular las características del tejado verde, el coste y la viabilidad económica hemos tomado como modelo el sistema “Sedum tapizante” de la empresa ZinCo (**Figura 10**), una de las empresas europeas más relevantes del sector, ya que es muy similar al modelo que queremos instalar (ZinCo Cubiertas Ecológicas, 2021).

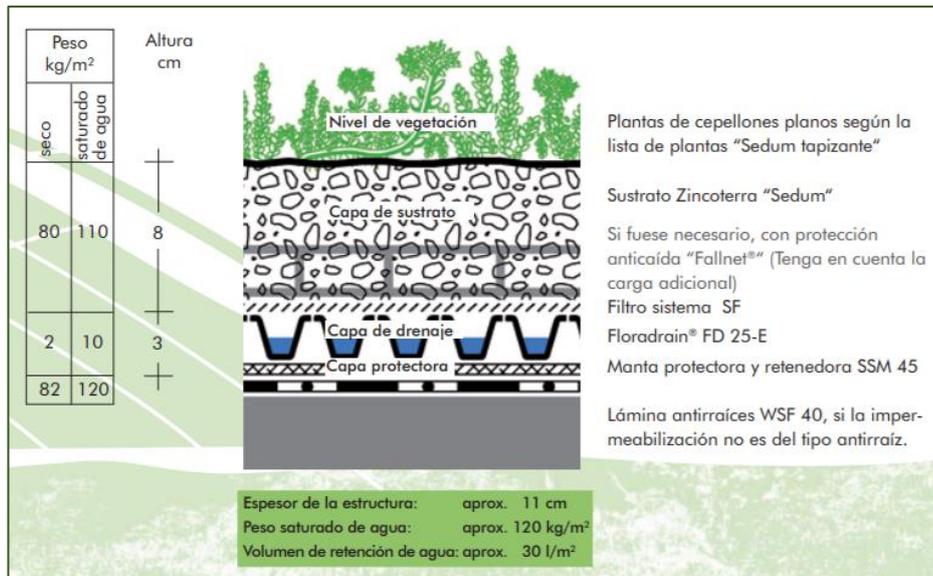


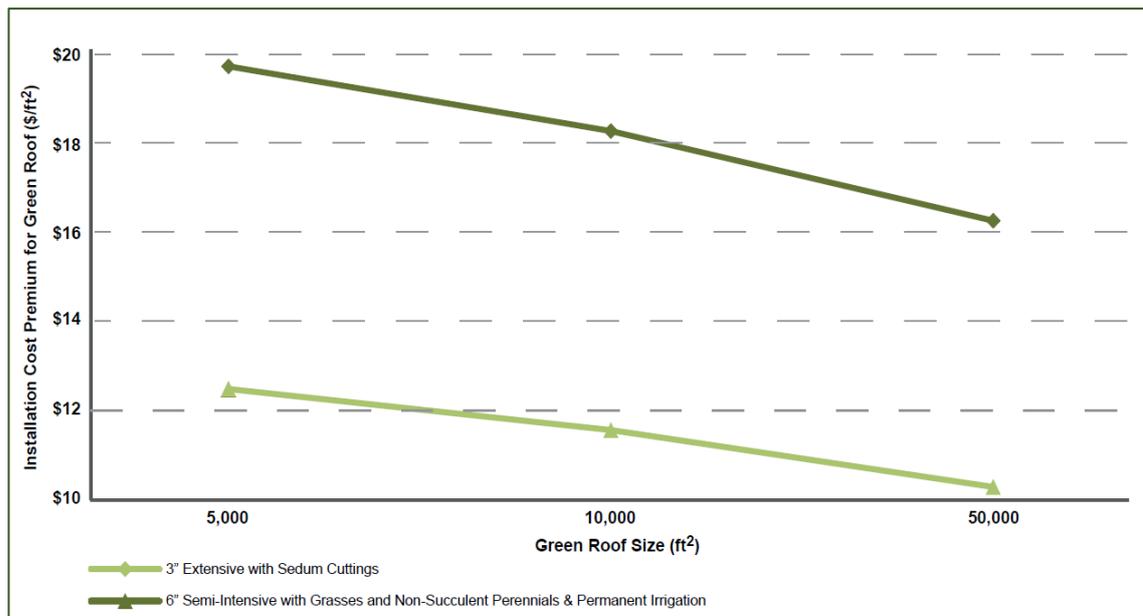
Figura 10. Modelo "Sedum tapizante" de la empresa ZinCo Fuente: Guía técnica de ZinCo (ZinCo Cubiertas Ecológicas, 2015)

Con respecto al peso del tejado verde, como se ha mencionado antes la carga total que puede soportar el tejado es de alrededor 30.900 kg, tomando como base de cálculo un valor de carga uniforme de 103 kg/m<sup>2</sup>. El peso total del tejado verde saturado de agua sería de 27.000 kg, por lo que la carga repartida saturada es de alrededor de 90 kg/m<sup>2</sup>, situándose por lo tanto por debajo del límite que especifica el código técnico de edificación (CSIC-MITMA, 2009).

Con respecto a la retención de agua, el modelo indica una retención de 30 L/m<sup>2</sup>, siendo la reducción total del tejado verde (225 m<sup>2</sup>) unos 6.750 L de retención de agua. Sin embargo hay que tener en cuenta que el modelo solo introduce plantas que pertenecen al género *Sedum*, mientras que nuestro modelo introduce además plantas herbáceas, las cuales como más eficientes que las plantas el género *Sedum* en la reducción de la escorrentía de agua de los techos verdes, la retención sería algo superior (Ondoño Tovar, 2015).

## 5. Presupuesto

El coste promedio de un tejado verde extensivo se encuentra entre 92,7 €/m<sup>2</sup> y 112,5 €/m<sup>2</sup> añadido al precio del propio tejado (GSA, 2011), y depende tanto en gran medida de la altura del sustrato, siendo los más económicos los de menor profundidad, como de la extensión del propio tejado verde, ya que los proyectos a gran escala salen mucho más económicos (Figura 11).



**Figura 11.** Precio medio (\$/ft<sup>2</sup>) de un tejado verde en relación a la extensión del tejado verde (ft<sup>2</sup>).

Fuente: GSA (2011)

La revisión de algunos ejemplos de tejados extensivos nos orienta en el precio medio que puede tener nuestro tejado verde, como el de la Sede de la Región 8 de la Agencia de Protección Ambiental en Colorado, con un espesor medio del medio de cultivo de 10,16 cm (4 pulgadas), y un precio de 139,5 €/m<sup>2</sup> (\$15,50/ft<sup>2</sup>), el del Centro de Justicia de la ciudad de Denver con un sustrato entre 10,16 – 15,24 cm (4-6 pulgadas) y un precio medio de 174,17 €/m<sup>2</sup> (\$19,35/ft<sup>2</sup>) o el del banco UMB en Stapleton (Reino Unido) también con una altura del medio de cultivo de 10,16 cm (4 pulgadas), y un precio de 215,3 €/m<sup>2</sup> (\$20/ft<sup>2</sup>) (Tolderlund, 2010) .

Con respecto al coste de nuestro tejado verde, el modelo de “Sedum tapizante” en el que nos estamos basando tiene un coste entre 93,87 €/m<sup>2</sup> (CYPE Ingenieros, 2021a) y 104,16 €/m<sup>2</sup> (CYPE Ingenieros, 2021b), por lo que el coste total estaría entre 21.120,75 € y 23.436 €. Sin embargo, el precio sería algo diferente por la diferencia de especies que estamos utilizando en el tejado verde, aunque no distaría mucho de las estimaciones anteriormente expuestas en base a instalaciones comparables preexistentes.

## 6. Conclusiones

Los tejados verdes son una solución más que adecuada para diversos problemas que ocurren por la edificación y la alteración del territorio, como los grandes caudales de escorrentías y el efecto de “Islas de Calor Urbanas”. Además de ser una gran oportunidad de recuperar especies

eliminadas por este desarrollo, utilizarse en recuperación de especies protegidas y aumentar las zonas verdes de las ciudades, lo que definitivamente puede tener un efecto positivo en la salud de la población.

Con respecto a los climas semiáridos y áridos como la zona de Elche, se ha demostrado que una buena selección tanto de la localización como de la capa de vegetación hace que el éxito de la estructura sea viable, a pesar de las duras condiciones climáticas de la zona.

La solución propuesta es un tejado verde extensivo con la mayoría de la vegetación perteneciendo al género *Sedum*, debido a la climatología de Elche y al limitado sustrato del requerido por los tejados verdes extensivos. Sin embargo, la introducción de otras especies vegetales autóctonas, sería una acción de gran interés para aumentar la biodiversidad y calidad estética del tejado verde.

Por último, a pesar de que este trabajo solamente se ha concentrado en el modelo de un único tejado verde en el edificio Alcudia del campus de Elche, a implantación de este tipo de infraestructuras verde es deseable que se extienda por el conjunto de todo el campus y la ciudad, dado que los beneficios que aportan este tipo de infraestructura verde son muy notables, existiendo pruebas fehacientes de ello en otras zonas, como por ejemplo los notables ejemplos implantados en países como Alemania.

## 7. Bibliografía

- AEMET-IMP. (2011). *Atlas Climático Ibérico. Temperatura del aire y precipitación (1971-2000)*. Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino - Instituto de Meteorologia de Portugal.
- Aranda López, J. C., Antón Agulló, J. C., Clemente Plaza, N., Eliza Miculita, A., & Gadea Alos, N. (2018). *2º Catálogo biodiversidad del municipio de Elche 2018*. Ajuntament d'Elx.
- Azis, S. S. A., & Zulkifli, N. A. Z. (2020). Green roof for sustainable urban flash flood control via cost benefit approach for local authority. *Urban Forestry & Urban Greening*, xxx, 126876. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126876>
- Banco Santander. (2021a). *Edificios verdes: el primer paso para la transición ecológica*. <https://www.santander.com/es/stories/edificios-verdes-el-primer-paso-para-la-transicion-ecologica>

- Banco Santander. (2021b). *Nuestra sede corporativa, reflejo de nuestra cultura*.  
<https://www.santander.com/es/sobre-nosotros/ciudad-financiera>
- Beecham, S., Razzaghmanesh, M., Bustami, R., & Ward, J. (2019). The Role of Green Roofs and Living Walls as WSUD Approaches in a Dry Climate. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design* (pp. 409–426). <https://doi.org/10.1016/C2016-0-03594-5>
- Catalbas, M. C., Kocak, B., & Yenipinar, B. (2021). Analysis of photovoltaic-green roofs in OSTIM industrial zone. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(27), 14844–14856. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.01.205>
- Comisión Europea. (2014). *Construir una infraestructura verde para Europa*. Unión Europea. <https://doi.org/10.2779/2738>
- CSIC-MITMA. (2009). *Código Técnico de la Edificación (CTE) de España. Documento Básico SE-AE. Seguridad Estructural. Acciones en la edificación*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC) - Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA).
- CYPE Ingenieros. (2021a). *Precio en España de m2 de Cubierta extensiva, sistema Sedum Tapizante “ZINCO.”*  
[http://www.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Cubiertas/Sistemas\\_de\\_cubiertas\\_verdes/Extensivas/QVE020\\_Cubierta\\_verde\\_extensiva\\_\\_sistema\\_S.html#gsc.tab=0](http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Cubiertas/Sistemas_de_cubiertas_verdes/Extensivas/QVE020_Cubierta_verde_extensiva__sistema_S.html#gsc.tab=0)
- CYPE Ingenieros. (2021b). *Zinco. Precio en España de m2 de Cubierta verde extensiva transitable. Sistema Sedum Tapizable “ZinCo.”*  
[http://zinco.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Cubiertas/Sistemas\\_de\\_cubiertas\\_verdes/Extensivas/QVE020\\_Cubierta\\_verde\\_extensiva\\_transitabl.html#gsc.tab=0](http://zinco.generadordeprecios.info/obra_nueva/Cubiertas/Sistemas_de_cubiertas_verdes/Extensivas/QVE020_Cubierta_verde_extensiva_transitabl.html#gsc.tab=0)
- Gómez-Zotano, J., Alcántara-Manzanares, J., Olmedo-Cobo, J. A., & Martínez-Ibarra, E. (2015). La sistematización del clima mediterráneo: identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España). *Revista de Geografía Norte Grande*, 61, 161–180.
- Gong, Y., Zhang, X., Li, H., Zhang, X., He, S., & Miao, Y. (2021). A comparison of the growth status, rainfall retention and purification effects of four green roof plant species. *Journal of Environmental Management*, 278(P1), 111451. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111451>
- GSA. (2011). *A Report of the United States General Services Administration The Benefits and Challenges of Green Roofs on Public and Commercial Buildings*. General Services

Administration (GSA).

- Harada, Y., & Whitlow, T. H. (2020). Urban Rooftop Agriculture: Challenges to Science and Practice. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4(June), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00076>
- Liu, H., Kong, F., Yin, H., Middel, A., Zheng, X., Huang, J., Xu, H., Wang, D., & Wen, Z. (2021). Impacts of green roofs on water, temperature, and air quality: A bibliometric review. *Building and Environment*, 196, 107794. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107794>
- Luckett, K. (2009). *Green roof construction and maintenance*. McGraw-Hill.
- MAPA. (2021). *Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR)*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). <https://eportal.mapa.gob.es//websiar/Inicio.aspx>
- Marvuglia, A., Koppelaar, R., & Rugani, B. (2020). The effect of green roofs on the reduction of mortality due to heatwaves: Results from the application of a spatial microsimulation model to four European cities. *Ecological Modelling*, 438, 109351. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109351>
- MITECO. (2019). *Guías de adaptación al riesgo de inundación: sistemas urbanos de drenaje sostenible*. Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO).
- Ondóño Tovar, S. (2015). *Design and characterization of optimal substrates for the growth of Mediterranean plant species in extensive green roof systems under semi-arid conditions*. Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) y Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS), Murcia.
- Rossman, L. A. (2015). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1 (EPA/600/R-14/413b)*.
- Saiz, S., Kennedy, C., Bass, B., & Pressnail, K. (2006). Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green Roofs. *Environmental Science & Technology*, 40(13), 4312–4316. <https://doi.org/10.1021/es0517522>
- Seto, K. C., Fragkias, M., Güneralp, B., & Reilly, M. K. (2012). A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion. *PLoS ONE*, 6(8), e23777. <https://doi.org/10.1371/Citation>
- Sharma, A. K., Gardner, T., & Begbie, D. (Eds.). (2019). *Approaches to Water Sensitive Urban Design. Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Policies, and Community Perceptions*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2016-0-03594-5>

- Tolderlund, L. (2010). *Design Guidelines and Maintenance Manual for Green Roofs in the Semi-Arid and Arid West*. University of Colorado Denver.
- UN DESA. (2018). *World Urbanization Prospects. The 2018 Revision*. United Nations Department of Economic & Social Affairs (UN DESA). <https://doi.org/10.4054/demres.2005.12.9>
- USEPA. (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Green Roofs*. United States Environmental Protection Agency (USEPA). <http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm%5Cpapers2://publication/uuid/30F84843-04A3-4904-A3DF-AC06915537C0>
- Van Renterghem, T., & Botteldooren, D. (2008). Numerical evaluation of sound propagating over green roofs. *Journal of Sound and Vibration*, 317(3), 781–799. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsv.2008.03.025>
- World Bank. (2021). *The World Bank-Data Bank*. <https://databank.worldbank.org/home.aspx>
- Yang, W., & Jeon, J. Y. (2020). Design strategies and elements of building envelope for urban acoustic environment. *Building and Environment*, 182, 107121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107121>
- ZinCo Cubiertas Ecológicas. (2015). *Guía de planificación Sistemas para cubiertas verdes extensivas*. [https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sites/default/files/2020-11/Cubiertas\\_verdes\\_extensivas.pdf](https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sites/default/files/2020-11/Cubiertas_verdes_extensivas.pdf)
- ZinCo Cubiertas Ecológicas. (2021). *Sistema para cubierta verde “Sedum tapizante.”* <https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas/sedum-tapizante>