



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Desarrollo de un modelo de negocio para la implantación de cubiertas verdes y jardines verticales en edificios; con análisis de sus implicaciones energéticas, de lucha contra el cambio climático y de mejora de la salud ambiental.

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Directora: Mónica Pérez Martínez

Madrid

Julio de 2021

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

Desarrollo de un modelo de negocio para la implantación de cubiertas verdes y jardines verticales para edificios; con análisis de sus implicaciones energéticas, de lucha contra el cambio climático y de mejora de la salud ambiental.

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

Curso académico 2020/21 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Pablo Rodríguez Cuadrado

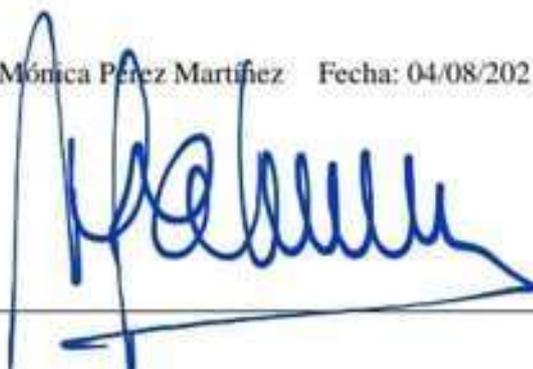
Fecha: 04/08/2021

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Mónica Pérez Martínez

Fecha: 04/08/2021



Agradecimientos

A mi madre, María Luisa Cuadrado Tonkin, por el inmenso sacrificio económico y personal que ha afrontado, y continúa afrontando, para ofrecerme la posibilidad de estudiar en esta escuela y ser un ingeniero del ICAI. Sólo aspiro a que mi trabajo y mi comportamiento me hagan digno de semejante esfuerzo.

Índice de la memoria

<i>Capítulo 1: Introducción</i>	11
1.1 Motivación del proyecto	12
1.2 Objetivos del Proyecto.....	13
<i>Capítulo 2: Estado del Arte</i>	19
2.1 Historia y evolución.....	19
2.2 Cubiertas verdes: Concepto y tipos.....	22
2.3 Normativa de aplicación	26
2.4 Fondos e Iniciativas de potenciación y desarrollo	30
2.5 Efectos positivos de los jardines verticales y las cubiertas verdes.....	31
2.5.1 Estudio de Akira Hoyano e Hiroyuki Yamada en Tokio.....	32
2.5.2 Estudio de grandes jardines verticales y en tejados.....	34
2.6 Soluciones ya existentes	37
2.6.1 Soluciones para jardines verticales.....	37
2.6.2 Soluciones para cubiertas verdes	46
<i>Capítulo 3: Digitalización: recopilación de datos, control y toma de decisiones</i>	53
3.1 El riego inteligente.....	53
3.1.1 Eficiencia en el uso del agua en la jardinería en la Comunidad de Madrid, Canal de Isabel II, 2010.....	55
3.1.2 Programa Irrimanlife. Sistema Model Green.....	58
3.1.3 Smart Biosystem	60
3.2 Sistema QR para el control de la vegetación	61
<i>Capítulo 4: Sistemas para el aprovechamiento de aguas pluviales</i>	65
4.1 Guía Técnica para el Aprovechamiento de aguas pluviales. Resumen	65
4.2 Diseño del sistema de recuperación de Aguas pluviales	74
4.2.1 Sistemas de recogida de agua en Cubiertas verdes.....	75
4.2.2 Tabla comparativa entre los distintos sistemas	80
<i>Capítulo 5: Inventariado de Árboles y vegetación</i>	83
5.1 Clasificación según la captación de CO ₂	83
5.2 Clasificación según la producción de oxígeno.....	90
5.3 Clasificación según la capacidad de aislante térmico	92

Capítulo 6: Soluciones propuestas.....	109
6.1 Niveles de digitalización.....	109
6.2 Diferenciación por zonas climáticas	112
6.3 Diseños para zona climática 7.....	113
6.3.1 Diseños para ubicaciones con altas precipitaciones en zona climática 7.....	113
6.3.2 Diseños para ubicaciones con bajas precipitaciones en zona climática 7.....	116
6.4 Diseños para zona climática 8.....	119
6.4.1 Diseños para ubicaciones con precipitaciones medias en zona climática 8.....	119
6.4.1 Diseños para ubicaciones con bajas precipitaciones en zona climática 8.....	122
6.5 Diseños para zona climática 9.....	125
6.5.1 Diseños para ubicaciones con precipitaciones abundantes en zona climática 9....	125
6.5.2 Diseños para ubicaciones con precipitaciones medias en zona climática 9.....	127
6.5.3 Diseños para ubicaciones con precipitaciones escasas en zona climática 9.....	130
6.6 Diseños para zona climática 10.....	132
6.6.1 Diseños para ubicaciones con precipitaciones medias en zona climática 10.....	132
6.6.1 Diseños para ubicaciones con precipitaciones escasas en zona climática 10.....	135
6.7 Diseños para zona climática 11.....	137
6.7.1 Diseños para ubicaciones con precipitaciones medias en zona climática 11.....	137
6.7.2 Diseños para ubicaciones con precipitaciones escasas en zona climática 11.....	140
Capítulo 7: Conclusiones	145
Capítulo 8: Bibliografía.....	147

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Capítulo 1: Introducción

Este Trabajo de Fin de Máster se desarrolla a partir del trabajo que está llevando a cabo el departamento de Infraestructuras Verdes, Azules y Turismo Sostenible de Suez; como parte de las prácticas realizadas en dicho departamento a través del MESEM (Master Environmet, Sustainability and Energy Management). El objetivo de este departamento consiste en desarrollar toda una serie de soluciones que compongan un servicio completo para las ciudades, como estrategia a medio y largo plazo de la compañía ante el crecimiento de las ciudades y de su población. Así, para desarrollar esta línea de negocio, se han definido seis pilares o verticales fundamentales:

- 1 Agua
- 2 Energía
- 3 Residuos
- 4 Salud ambiental
- 5 Cambio climático
- 6 Renaturalización

Dichos pilares se integran mediante dos herramientas transversales: la digitalización y la participación de la ciudadanía. Se consideran ambas cuestiones fundamentales para lograr que las soluciones finalmente adoptadas tengan el mayor impacto y beneficio ambiental, económico y social posible; ofrezcan capacidad de mejora continua y evolución en consonancia con el desarrollo de nuevas tecnologías y productos; y puedan ser aprovechadas al máximo por la ciudadanía. De manera que pase a ser un elemento activo de la vida en las ciudades y, como usuarios, produzcan un feedback que facilite la detección de errores o cuestiones a mejorar, de cara a establecer un sistema de mejora continua.

De entre las infraestructuras verdes que se plantean desarrollar como parte de este proyecto, se ha tomado como tema del Trabajo de Fin de Máster las cubiertas y jardines verticales verdes, planteando un estudio en profundidad sobre sus múltiples beneficios y aplicaciones, y buscando desarrollar una solución innovadora para su utilización en edificios urbanos, integrando las distintas tecnologías ya presentes y analizando opciones de mejora para las mismas. Una vez analizada en profundidad la tecnología disponible en este momento, las cuestiones clave a potenciar y mejorar, y las posibilidades de desarrollo de negocio; se toma la decisión de crear un modelo de negocio que permita ofrecer distintas soluciones y recomendaciones en función de parámetros como:

- Capacidad y/o voluntad de inversión económica en el proyecto.
- Capacidad de carga del edificio sobre el que se realizará la instalación de la cubierta y el vertical verde.

- Condiciones climatológicas de la localización: humedad, temperatura, frecuencia de lluvias.
- Necesidad y/o interés de disponer de vegetación que actúe como aislante térmico del edificio.
- Importancia de la capacidad de absorción de CO₂ y demás elementos contaminantes.

1.1 Motivación del proyecto

La elección de este proyecto viene marcada, por la formación recibida en el MESEM, en que la transformación y digitalización de las ciudades, y su mejora ambiental y de eficiencia energética constituía uno de los pilares básicos. La Unión Europea estableció, ya hace años, la *Agenda urbana de la Unión Europea* como una comisión de gran importancia, identificando como temas prioritarios de su gestión cuestiones íntimamente relacionadas con los objetivos principales de este proyecto, como son:

- Calidad del aire en las ciudades.
- Adaptación al cambio climático en las ciudades.
- Transición energética en las ciudades.
- Uso sostenible del suelo y soluciones basadas en la naturaleza en las ciudades.

Este valor e importancia que la UE otorga a la transformación de las ciudades se debe al gran crecimiento que están experimentando; pues los datos de que se disponen, llevan a estimar que en 2030 habrá, en todo el mundo, 5.000 millones de personas viviendo en ciudades, y en 2050 serán 2/3 de la población mundial los que habiten las ciudades, es decir, más de 6.000 millones de personas.

Como ingeniero, veo en esta situación y en la apuesta tan fuerte que está realizando la Unión Europea, una oportunidad extraordinaria para desarrollar e integrar todo tipo de soluciones que permitan llevar a cabo un cambio profundo y notable en nuestras ciudades. Aprecio, además, que para Europa constituye una gran oportunidad de exportar este conocimiento y hacer de los servicios de transformación verde y cuidado de las ciudades un recurso económico importante; ya que en otras zonas del mundo no se tiene el desarrollo urbano de Europa y no están acometiendo las reformas y la transformación que ya se está llevando a cabo aquí; de ahí que podamos desarrollar todo un know-how que luego aplicar en proyectos en otros continentes. Por lo tanto, he apreciado no sólo la posibilidad de realizar un Trabajo Fin de Máster interesante y con gran relación con todo lo estudiado en el MESEM, sino que también permite abrir una vía de trabajo y de negocio con muchas posibilidades de expansión y crecimiento, lo que es sumamente interesante para un ingeniero recién titulado, pues permite que el trabajo no se quede exclusivamente en un marco teórico o académico, sino que tenga un claro aspecto práctico y de aplicación real.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Este proyecto sirve como Trabajo Fin de Máster tanto para el MII (Máster Ingeniería Industrial) como para el MESEM, pues conlleva recurrir al uso de muchas de las herramientas y conocimientos adquiridos en la formación del MESEM. Tanto la reducción de la huella de carbono, como la transformación energética de las ciudades han sido dos de los pilares constituyentes del MESEM, con múltiples asignaturas en que se estudiaba y comprobaba la importancia de ambos objetivos; de ahí el ver con absoluta claridad lo adecuado de este tema para desarrollar el Trabajo Fin de Máster. Además, en comparación con otras cuestiones que se han estudiado y analizado durante mis prácticas en Suez, el desarrollo de cubiertas y verticales verdes me pareció de especial interés por la cantidad de tecnologías y distintas soluciones que integran, lo que conlleva un estudio mucho más completo y una mayor variedad de posibilidades.

1.2 Objetivos del Proyecto

El objetivo fundamental de este trabajo es desarrollar un modelo de negocio que proponga una serie de estructuras de cubiertas y verticales verdes que permitan integrar las distintas soluciones existentes en este mercado, proponiendo y aportando alternativas innovadoras con las que obtener el mayor beneficio energético, ambiental, económico y social posible. Ese modelo de negocio ofrecerá un catálogo de soluciones a escoger en función de criterios económicos, climáticos, de posibilidades técnicas del edificio y medioambientales. Para que el proyecto cumpla con este objetivo final, se han identificado una serie de metas previas que se deben alcanzar; objetivos específicos que se requieren para el desarrollo final del proyecto. Dichos objetivos son:

- Estudiar y clasificar las soluciones técnicas existentes ya en el mercado para jardines verticales y cubiertas verdes.
- Identificar los aspectos en que este tipo de infraestructuras presentan todavía posibilidades de mejora, como, por ejemplo, la monitorización continua y la digitalización.
- Configurar una base de datos de distintas plantas y árboles según sus necesidades de riego y mantenimiento, su adecuación a distintos entornos climáticos, su potencial de captura de CO₂, su capacidad de aislamiento térmico y acústico; y la relación entre estas variables y la carga de peso que suponen para el edificio en el que se asienten.
- Analizar los efectos de cubiertas y verticales verdes en el ahorro de energía, la captación de CO₂ y otros elementos tóxicos o dañinos para el medioambiente, y la producción de oxígeno.
- Establecer una relación económica estrecha entre la inversión necesaria para el desarrollo de distintos tipos de cubiertas y verticales verdes y el ahorro energético que proporcionan; con el fin de poder plantear distintos tipos de soluciones según las posibilidades económicas del proyecto.

- Estudiar las posibilidades de combinar estas cubiertas y verticales verdes con sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales, uso de placas fotovoltaicas para autoconsumo, y demás tecnologías de mejora de la eficiencia energética global del edificio.
- Analizar el efecto de estas infraestructuras sobre la mejora de la biodiversidad en los espacios urbanos.

Una vez identificadas todas estas características y cuestiones, se procederá a proponer distintas soluciones que permitan el diseño e instalación de jardines verticales y cubiertas verdes en cualquier lugar del territorio español; en edificios con distintas capacidades de carga y para diferentes niveles de inversión económica. De esta forma se podrá diseñar un servicio más completo y versátil, adaptable a todo tipo de clientes y condicionantes climáticos.

Chapter 1: Introduction

This thesis is based on the work that is being carried out by the department of Green, Blue Infrastructures and Sustainable Tourism of Suez; as part of the internship that I have done in this department through the MESEM (Master Environment, Sustainability and Energy Management). This department target is to develop a whole series of solutions that make up a complete service for cities, as a medium and long-term strategy for the company due to the great growth of cities and their population. Thus, to develop this business area, six fundamental pillars or verticals have been defined:

- 1 Water
- 2 Energy
- 3 Waste
- 4 Environmental health
- 5 Climate change
- 6 Renaturation

These pillars are integrated through two transversal tools: digitization and citizen participation. Both of them are considered to be key issues to ensure that the solutions finally adopted have the greatest environmental, economic and social impact and benefit; offer capacity for continuous improvement and evolution agreed with the development of new technologies and products; and can be used to the maximum by citizens. That way, these solutions may become an active element of life in cities and, as users, produce feedback that facilitates the detection of errors or issues to improve, in order to establish a system of continuous improvement.

Among the green infrastructures that are proposed to be developed as part of this project, green roofs and verticals have been taken as the subject of the Thesis, proposing a deep study on their multiple benefits and applications, and seeking to develop an innovative solution for use in urban buildings, integrating the different technologies already present and analysing improvement options for them. Once the technology available at this moment has been studied in depth, the key issues to enhance and improve, and the possibilities for business development; the decision has been to develop a business model that allows us to offer different solutions and recommendations based on parameters such as:

- Capacity and / or willingness to invest financially in the project.
- Load capacity of the building on which the installation of the roof and the green vertical will be carried out.
- Weather conditions of the location: humidity, temperature, frequency of rains.
- Need or interest in having vegetation as a thermal insulator for the building.

- Importance of the capacity to absorb CO₂ and other polluting elements.

Motivation of the project

This project has been chosen because of the training received at the MESEM, in which the transformation and digitization of cities, and their environmental impact and energy efficiency were one of the fundamental pillars. The European Union has established, years ago, the Urban Agenda of the European Union as a commission of great importance, identifying as priority issues of its management several issues closely related to the main objectives of this project, such as:

- Air quality in cities.
- Adaptation to climate change in cities.
- Energy transition in cities.
- Sustainable land use and nature-based solutions in cities.

The value and importance the EU gives to the transformation of cities is due to the great growth they have had through the last decades and they seem will have in near future. The available data lead to an estimate that in 2030 there will be 5,000 million people living in cities worldwide, and in 2050 2/3 of the world population will live in cities, that is, more than 6,000 million people. As an engineer, I see in this situation and in the strong commitment that the European Union is making, an extraordinary opportunity to develop and integrate all kinds of solutions that allow us to carry out a profound and remarkable change in our cities. I also appreciate that for Europe it is a great opportunity to export this knowledge and make green transformation services and city care an important economic resource; since in other areas of the world there is no urban development in Europe and they are not undertaking the reforms and transformation that is already taking place here; Hence, we can develop a whole know-how that then apply in projects in other continents. Therefore, I have appreciated not only the possibility of carrying out an interesting Master's Thesis and with a great relationship with everything studied in the MESEM, but it also allows us to open a path of work and business with many possibilities for expansion and growth, which is extremely interesting for a recently graduated engineer, as it allows the work not to remain exclusively in a theoretical or academic framework, but to have a clear practical aspect and of real application.

This project serves as a Master's Thesis for both the MII (Industrial Engineering Master) and the MESEM, as it involves resorting to the use of many of the tools and knowledge acquired in the MESEM training. Both the reduction of the carbon footprint and the energy transformation of cities have been two of the constituent pillars of the MESEM, with multiple subjects in which the importance of both objectives was studied and verified; Hence, seeing with absolute clarity the appropriateness of this topic to develop the Final Master's Thesis. In addition, compared to other issues that have been studied and analysed during my internship at Suez, the development of green roofs and verticals seemed to me of special interest due to the number of technologies and different solutions that they integrate, which entails a much more complete study and a greater variety of possibilities.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Objectives of the Project

The main objective of this work is to develop a business model that purposes a series of green roof and vertical structures that allow integrating the different solutions existing in this market, proposing and providing innovative alternatives with which to obtain the greatest energy, environmental, and economic and social possible. This business model will offer a catalogue of solutions to choose from based on economic, climatic, technical possibilities of the building and environmental criteria. In order to meet this final objective, a series of previous goals that must be achieved have been identified; specific objectives that are required for the final development of the project. These objectives are:

- Study and classify the technical solutions already on the market for vertical gardens and green roofs.
- Identify the aspects in which this type of infrastructure still has room for improvement, such as continuous monitoring and digitization.
- Set up a database of different plants and trees according to their irrigation and maintenance needs, their adaptation to different climatic environments, their potential for capturing CO₂, their thermal and acoustic insulation capacity; and the relationship between these variables and the weight load they imply for the building in which they are located.
- Analyse the effects of green roofs and verticals in saving energy, capturing CO₂ and other toxic or harmful elements for the environment, and the production of oxygen.
- Establish a close economic relationship between the investment necessary for the development of different types of green roofs and verticals and the energy savings they provide; in order to be able to propose different types of solutions according to the economic possibilities of the project.
- Study the possibilities of combining these green roofs and verticals with rainwater harvesting systems, the use of photovoltaic panels for self-consumption, and other technologies to improve the overall energy efficiency of the building.
- Analyse the effect of these infrastructures on the improvement of biodiversity in urban spaces.

Once all these characteristics and issues have been identified, different solutions will be proposed that allow the design and installation of vertical gardens and green roofs anywhere in Spanish territory; in buildings with different load capacities and for different levels of economic investment. In this way, a more complete and versatile service can be designed, adaptable to all types of clients and climatic conditions.

Capítulo 2: Estado del Arte

En este capítulo se muestra el estudio que se ha realizado sobre los jardines verticales y las cubiertas verdes, empezando por ofrecer un breve resumen de su historia y evolución en el tiempo, y una definición básica de lo que son estas estructuras. El siguiente paso del estudio consisten en presentar los distintos tipos de cubiertas y jardines que se pueden distinguir actualmente. Posteriormente, se recoge información respecto a las normativas e iniciativas que se han aprobado para impulsar y regular estas estructuras, que como se podrá ver demuestran una clara voluntad de la Unión Europea por fomentar el uso de estos jardines urbanos. En clara relación con estas iniciativas que buscan potenciar su uso, se procederá a recopilar los estudios que se han realizado respecto a los beneficios que generan estas estructuras. Estas tres patas conforman el primer análisis, de carácter más general, del Estado del Arte.

A continuación, se pasará a analizar soluciones concretas que se están comercializando actualmente para instalar y llevar a cabo el mantenimiento de los jardines verticales y las cubiertas verdes, tratando de identificar aquellas que resulten más adecuadas, así como los aspectos en que todavía se presenta un margen de mejora importante. Al fin y al cabo, este proyecto busca desarrollar un modelo de negocio para la implantación de estos jardines y cubiertas, de ahí el interés en detectar cuestiones en las que se puedan desarrollar soluciones y recursos diferenciadores.

2.1 Historia y evolución

Dejando de lado referencias históricas como los Jardines Colgantes de Babilonia, de los que no se tienen registros completos ni fiables, el uso más antiguo conocido de vegetación en edificios se encuentra en el norte de Europa, en los países escandinavos. En esta zona, el incluir vegetación como el césped o la turba ha sido una manera de hacer frente a condiciones climáticas adversas desde hace siglos. Estos vegetales ofrecen un aislamiento térmico muy superior al que presentan los edificios construidos con madera o piedra, de ahí que optasen por cubrir los tejados con ellos. Además, las continuas lluvias de estas zonas permitían que no hiciese falta incluir ningún sistema de riego, con lo que se disponía de jardines que no requerían de mantenimiento.

Otro ejemplo de la utilización de vegetación para cubrir edificios son los jardines precolombinos que se disponían en forma de terrazas en las laderas de los Andes y todavía pueden observarse hoy en día. Disponiéndolos con la misma estructura que se le daba a los cultivos, para tratar de aprovechar al máximo el terreno, estos jardines se instalaban buscando ofrecer un aislamiento ante las duras condiciones climatológicas de la región, del mismo modo que pasaba en los países del norte de Europa.

Durante siglos no se identifica ningún avance significativo en el uso de plantas como elemento aislante o arquitectónico, manteniendo estos mismos usos sin que se desarrollen sistemas más complejos. Hay que saltar ya hasta los inicios del siglo XX para hallar un ejemplo innovador de su uso. Dicho ejemplo lo encarnan los arquitectos Frank Lloyd Wright y Le Corbusier, que empezaron a buscar la manera de crear una relación entre los edificios y la naturaleza, de manera que dichos edificios quedasen integrados en su

entorno. Le Corbusier, que se convirtió en todo un referente en la arquitectura del siglo XX, hizo diseños con cubiertas verdes buscando compensar la vegetación que se había eliminado para la construcción de los edificios, y también comenzó a incluir espacios recreativos y de ocio en las azoteas para ofrecer más opciones de disfrute a los habitantes de esos edificios. El gran exponente de estos diseños y este concepto de arquitectura y urbanismo es Ville Radieuse (La Ciudad Radiante), un plan maestro urbano de Le Corbusier, presentado en 1924 y publicado en un libro titulado con el mismo nombre en 1933, aunque nunca llegó a construirse. Se trata de una ciudad diseñada para contener medios de transporte eficaces, así como una gran cantidad de espacios verdes y luz solar. Esta “ciudad del futuro” de Le Corbusier no sólo proporcionaría a los residentes un mejor estilo de vida, sino que también buscaba contribuir a la creación de una mejor sociedad en su conjunto. Los principios propuestos por Le Corbusier tuvieron una gran influencia en la planificación urbana moderna y llevaron al desarrollo de nuevas tipologías de vivienda de alta densidad que se aplicaron durante décadas y todavía permanecen como una referencia.

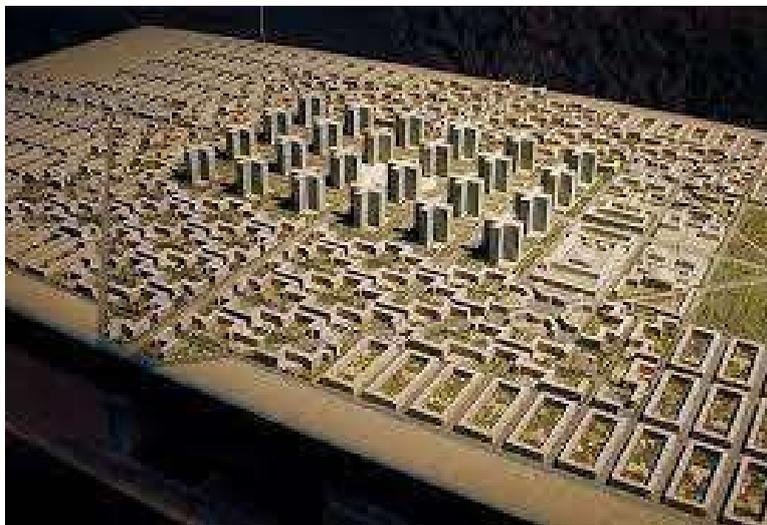


Imagen 1: Maqueta de La Ville Radieuse. Fuente: 7 Grandes Ideas de Le Corbusier, Diseño urbano

Frank Lloyd Wright desarrolló el concepto de la arquitectura orgánica como un estilo que busca lograr la integración del edificio con sus alrededores para que, junto con la naturaleza, se convierta en parte de una composición unificada. Un elemento importante de este estilo arquitectónico eran los jardines verticales, tanto en las fachadas exteriores como colgando por los patios interiores, para Wright suponían una mejora estética, así como un recurso para la disminución de ruidos y para ofrecer los beneficios del contacto con la naturaleza, si bien todavía no se tenía el concepto de la captura de CO₂ como valor fundamental de la vegetación.

El último gran salto en el desarrollo de los jardines verticales y las cubiertas verdes, que nos lleva hasta el estado actual de continuo crecimiento y fomento de su uso, está personalizado en la figura del botánico francés Patrick Blanc, un auténtico referente en el sector que comenzó con sus primeros diseños en 1988 y ha sido el creador de los llamados muros o fachadas vegetales. Dichos muros vegetales son unas estructuras compactas verdes formadas completamente por vegetación y que se han convertido en el modelo de

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

todos los jardines verticales que se realizan actualmente, como la fachada del edificio CaixaForum en Madrid, obra del propio Blanc.

Los diseños de Blanc se basaron, en un primer momento, en las selvas tropicales del sudeste asiático, y tratan de emular esa misma concentración de plantas. A través del estudio que realizó en estas áreas identificó la existencia de vegetación que se desarrolla en los troncos de árboles más grandes, en rocas y piedras, etc. es decir, que no requieren de un suelo del que obtener nutrientes; necesitan exclusivamente del riego. A partir de este concepto comenzó a desarrollar los cultivos hidropónicos que constituyen la base de sus diseños de jardín vertical, y que se caracterizan por ser capaces de desarrollarse en el agua, sin necesidad de un sustrato en el que asentarse. Este sistema supuso una revolución por dos motivos: en primer lugar la sencillez de su instalación, pues se está eliminando un elemento de la estructura; y en segundo lugar su ligereza, lo que permite aumentar la cantidad de plantas a colocar en el muro, y por tanto maximizar sus beneficios.

Algunas de sus obras más destacadas son:

- Asia Square Tower 2, Singapur.
- Torre de Cristal, Madrid.
- 53W53 Tower, New York.
- Sofitel Palm Jumeirah, Dubai.
- BHV Homme, París.



Imagen 2: Jardín vertical de Patrick Blanc. Fuente: Patrick Blanc, Jardines Verticales, Aryse

2.2 Cubiertas verdes: Concepto y tipos

Como primera idea es fundamental entender que para disponer de una cubierta verde no basta con ubicar una serie de macetas en el tejado; sino que se debe formar un jardín completo, es decir, con una capa de suelo formado por un sustrato de materia orgánica en el que se desarrollen las plantas. Constituyen uno de los elementos fundamentales en el desarrollo urbano sostenible y en el cambio de conciencia en torno al respeto por la naturaleza que está surgiendo a raíz del cambio climático. Sus beneficios para las edificaciones que ocupan, así como para el medioambiente y el entorno urbano son evidentes; proporcionando enormes ventajas a la economía y ecología en comparación con la construcción tradicional “no verde”. Otra de sus principales características es la facilidad que debe presentar su mantenimiento, habiéndose alcanzado recientemente importantes cuotas de autogestión que limitan al máximo la necesidad de trabajo sobre las cubiertas. De esta forma se está desarrollando todo un nuevo modelo de sostenibilidad urbana que requiere de un potente know-how para su implantación y expansión, y que, por tanto, está creando puestos de trabajo con conocimientos técnicos en distintas disciplinas como jardinería, digitalización, automatización, diseño de estructuras, fabricación de elementos mecánicos, etc.

En función del tipo de vegetación utilizada, de las cargas estructurales que conllevan para los edificios, y del mantenimiento requerido se distinguen cuatro tipos de cubiertas verdes: extensivas, intensivas, semi-intensivas, y biodiversas.

Cubiertas Extensivas

Es un sistema de cubierta muy utilizado en tejados de difícil acceso o con gran pendiente; y en edificios que no pueden soportar grandes cargas. Son muy económicas, ligeras, con necesidad prácticamente nula de nutrientes o fertilizantes y con un mantenimiento mínimo. El sustrato de estas cubiertas tiene un grosor de entre 4 y 15 cm y el peso total de la cubierta puede variar entre 30 y 150 kg/m². Las plantas más adecuadas para su instalación son, en general, plantas ruderales resistentes, con poca necesidad de riego y fertilizantes más allá del sustrato natural que ya usan; como las especies de sedum, plantas vivaces y gramíneas. Esto conlleva que en regiones con climas suficientemente húmedos se pueda disponer de cubiertas extensivas sin ninguna necesidad de riego o abono artificial, con lo que resulten completamente autogestionables. Para los casos más ligeros, de apenas 30 kg/m², se emplea exclusivamente sedum; mientras que en cubiertas que admitan mayor peso se mezclan también las gramíneas y plantas silvestres resistentes para tener una vegetación más compleja, de manera que se pueda desarrollar un jardín con más biodiversidad.

Las cubiertas verdes extensivas se diseñan para reducir al máximo los posibles problemas de malas hierbas o especies invasivas, ya que se busca minimizar la necesidad de mantenimiento; no obstante, por este mismo motivo, su potencial de biodiversidad es muy limitado, y tampoco presentan gran capacidad de captación de dióxido de carbono o producción de oxígeno. Todo ello hace de las cubiertas extensivas la opción más cómoda y barata, resultando accesible para prácticamente el 100% de los edificios; pero también

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

la menos beneficiosa tanto para los habitantes del edificio como para el entorno y el medioambiente; de ahí que, como alternativa, sean muy interesantes para edificios de construcción antigua, pero resulte recomendable emplear otros tipos de cubiertas en los edificios nuevos.

Dentro de este tipo de cubiertas verdes se puede distinguir el subtipo de las cubiertas extensivas superligeras: capas muy delgadas en las que la vegetación sólo alcanza los 25 mm, y cuya diversidad está aún más limitada, así como sus efectos positivos; pero que suponen una carga incluso menor para los tejados. Su uso queda limitado a edificios antiguos que no tienen capacidad para sustentar otro tipo de cubierta

Los primeros ejemplos históricos que se conocen de cubiertas verdes, que como se ha explicado anteriormente se encuentran en los países escandinavos, se encuadran en este tipo de cubiertas, debido a la clase de plantas que utilizaban y la consiguiente nula necesidad de mantenimiento.

Cubiertas Intensivas

Este tipo de cubiertas son sistemas mucho más complejos que, debido a su variedad vegetal, requieren de un mantenimiento periódico, con tareas habituales de jardinería como corte del césped, abonado, riego, drenaje, etc.; lo que las hace mucho más caras de mantener. A menudo, estas cubiertas incluyen sistemas de gestión del agua de lluvia e incluso sistemas de recirculación de la escorrentía para el riego; ya que sus necesidades hídricas hacen que resulte importante aprovechar al máximo el agua de lluvia para reducir el consumo y el coste del riego.

Las cubiertas intensivas se sustentan en sustratos mucho más ricos y complejos que pueden alcanzar los 150 cm de profundidad, ya que deben permitir el crecimiento de plantas y árboles de buen tamaño; y suponen un peso de entre 250 kg y 1.500 kg, dependiendo de lo compleja y diversa que se quiera que sea. Esto hace que requieran de estructuras específicas para su soporte, por lo que su utilización en edificios ya construidos es sumamente difícil, quedando reducido su uso a edificación nueva ya diseñada para alojar estas cubiertas.

Es habitual encontrar este tipo de cubiertas en parkings subterráneos o en la parte superior de centros comerciales a modo de espacio lúdico o recreativo, ya que suelen utilizarse en lugares que resulten accesibles al público. No obstante, van siendo más habituales en bloques de viviendas y oficinas, pues son las cubiertas que proporcionan un mayor aislamiento térmico y acústico, por lo que permiten una importante reducción del consumo energético de un edificio. Además, ofrecen beneficios ambientales muy importantes, pues tienen una mayor capacidad de captación de CO₂ y metales pesados y de producción de oxígeno.

Cubiertas Semi-Intensivas

Como su nombre indica es un sistema cuyas características están a mitad de camino entre la cubierta intensiva y la cubierta extensiva. Con una profundidad media de entre 80 mm y 120 mm, un peso entre los 70 y los 220 Kg, y algunas necesidades de mantenimiento, es un sistema ideal para tejados parcialmente accesibles. Por ese motivo se suelen instalar en azoteas de uso social o recreativo. Normalmente se instalan sobre tejados de metal o de hormigón que puedan soportar el peso sin necesidad de realizar obras para reforzar la estructura.

Las cubiertas semi-intensivas se caracterizan por tener una mayor variedad vegetal que las extensivas, pudiendo sustentar plantas herbáceas, césped o pequeños matorrales, con lo que requieren de un mantenimiento moderado con riego esporádico. Este sistema puede retener más agua que una cubierta extensiva y proporciona una mayor riqueza biodiversidad. Como parte de su instalación es necesario, al igual que pasaba con las cubiertas intensivas, disponer de un sistema de drenaje de aguas.

Cubiertas Biodiversas

Las cubiertas biodiversas se consideran una variación de las extensivas, pero con algunas diferencias estructurales en el tipo de vegetación que se dispone sobre ellas. Están diseñadas específicamente para crear un hábitat que atraiga a unas especies particulares de plantas, insectos y pájaros, generando un hábitat similar al que existía en el lugar antes de la edificación, buscando de esta forma estimular la presencia natural de fauna y flora para recuperar así el valor de la biodiversidad de la zona. Por ese motivo, la interacción humana en estos tejados debe ser muy limitada, quedando reducida a las actividades mínimas indispensables para su mantenimiento.

Comparación entre los distintos tipos de cubiertas verdes

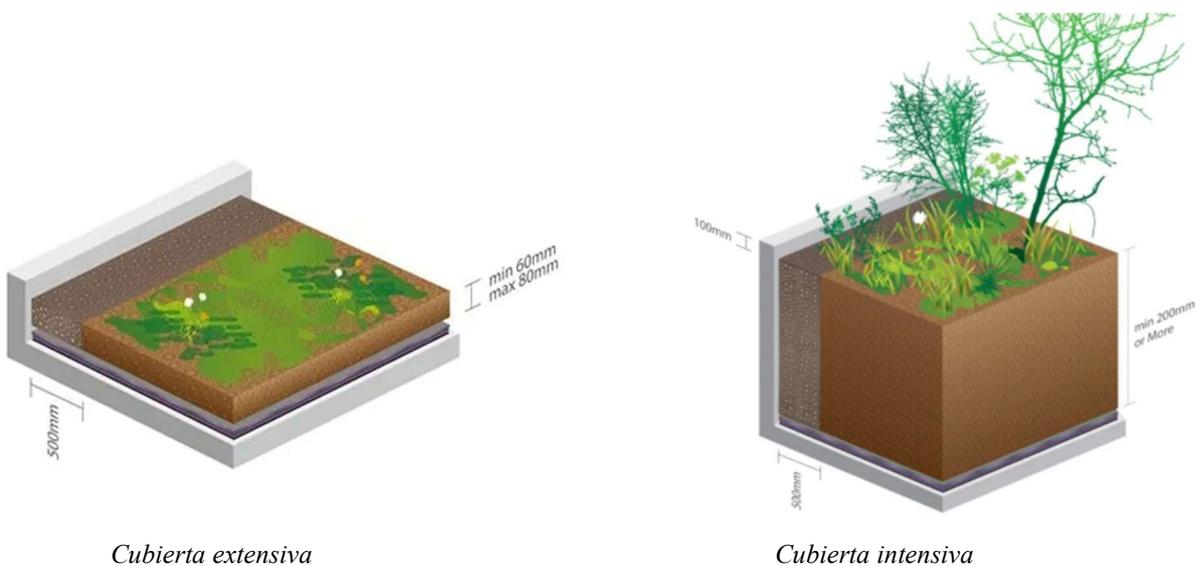
Con el fin de desarrollar el modelo de negocio que permita tener ofrecer distintas soluciones en función de las demandas del cliente, las condiciones de la ubicación y las posibilidades del edificio, se presenta, en la siguiente tabla, una comparación entre los distintos tipos de cubiertas. De esta manera se busca que resulte más sencillo identificar qué clase de cubierta es la más adecuada para cada caso.

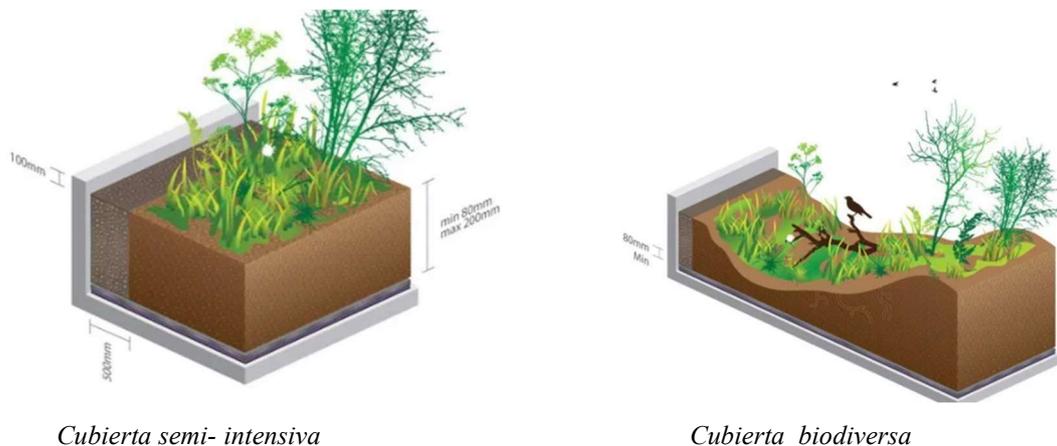
Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Cubiertas	Vegetación	Espacios	Mantenimiento	Peso	Efectos
Extensiva	Sédum Plantas ruderales Césped Gramíneas	Tejados difícilmente accesibles	Escaso	30 - 150 Kg/m ²	Escasa biodiversidad Poca captación de CO ₂ Buen aislante
Intensiva	Cubierta vegetal Arbustos Árboles	Espacios accesibles y lúdicos	Riego Poda Drenaje	250 - 1.500 Kg/m ²	Mucha captación de CO ₂ Gran producción de oxígeno Muy buen aislante
Semi-intensiva	Arbustos Césped Cubierta vegetal	Tejados parcialmente accesibles	Riego Drenaje	70 - 220 kg/m ²	Beneficios intermedios entre extensivas e intensivas
Biodiversa	Arbustos Césped Gramíneas	Tejados difícilmente accesibles	Escaso	50 - 200 Kg/m ²	Atrae fauna específica Efectos energéticos similares a las extensivas

Tabla 1: Tipos de cubiertas verdes. Elaboración propia





Cubierta semi-intensiva

Cubierta biodiversa

Imagen 3: tipos de cubiertas verdes. Fuente: Guía de Cubiertas verdes para edificios

La distinción entre cubiertas extensivas, intensivas y semi-intensivas se aplica tanto a los jardines en tejados como a los jardines verticales, utilizando la denominación de cubiertas de manera genérica, y empleando los mismos criterios de peso de la cubierta, necesidades de mantenimiento y capacidad de aislamiento, producción de oxígeno, etc. para escoger entre una opción u otra. La diferencia fundamental entre ambos es que en los jardines verticales se opta, mayoritariamente, por cultivos hidropónicos, con el objetivo de aligerar las estructuras y facilitar su mantenimiento.

2.3 Normativa de aplicación

Tras la búsqueda que se ha hecho de normativa de aplicación para jardines verticales y en tejados, fachadas vegetales, etc. se ha llegado a la conclusión de que la regulación existente es escasa e imprecisa. La inclusión de estos espacios en la edificación es un fenómeno que si bien se está utilizando cada vez con mayor frecuencia continúa sin estar establecido y sin ser común; de ahí ese retraso en la redacción de una regulación sólida y bien estructurada. No obstante, algunos países sí han ido redactando sus propias normas y leyes, no tanto para establecer de qué manera se deben construir e instalar estos jardines, como para potenciar y fomentar su uso.

Siguiendo un orden temporal, el primer documento de normativa relacionada con estas instalaciones es: “Directrices para la construcción, planificación y mantenimiento de fachadas con plantas trepadoras”, que fueron redactadas en Alemania en 1995; si bien solo se preocupaba de regular los aspectos de jardinería y no los constructivos, ya que este tipo de jardines con plantas trepadoras y enredaderas eran muy comunes en Alemania.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

La siguiente normativa relacionada con los jardines verticales y las cubiertas verdes se publicó en Toronto en 2008 como un plan gubernamental que buscaba promover la instalación de techos verdes en las azoteas de las nuevas construcciones, pero fue Copenhague la ciudad que dio un paso más allá redactando, en 2010, una normativa por la que se obligaba a incluir esos jardines en las cubiertas de los edificios de nueva construcción. Dicha norma es parte del ambicioso plan de la ciudad para ser neutros en emisiones netas en 2025. En los últimos años otras ciudades importantes como París, Barcelona y Buenos Aires están desarrollando distintos planes con los que incentivar el uso de estos jardines urbanos, aunque tampoco han establecido, por el momento, una regulación a nivel constructivo y de funcionamiento.

El gran escollo a superar de cara a establecer de manera sólida el uso de estos jardines es disponer de normativas de ámbito nacional e internacional, que ofrezcan un contexto más seguro y estable para el desarrollo de empresas especializadas en estos servicios. En ese sentido las principales referencias son:

- Legislación a favor de los tejados verdes implementada en Francia en 2015, por la que el tejado de todo nuevo edificio debe estar parcialmente cubierto de vegetación o placas solares.
- Ley Federal de Techos Verdes de Suiza, aprobada en 2016 y que plantea las mismas exigencias.

No obstante, ambas leyes se limitan a favorecer el desarrollo de estas estructuras, sin ofrecer la regulación necesaria para estandarizar el diseño, construcción y mantenimiento de estos jardines.

Buscando una regulación que ofrezca indicaciones y una guía para la construcción de estos jardines se ha hallado como principal referencia, para España, la Norma Tecnológica sobre Ajardinamientos Verticales (NTJ-11V) y la Norma Tecnológica sobre Cubiertas verdes (NTJ-11C), ambos de la Fundación de la Jardinería y el Paisaje, que, según afirma el arquitecto especializado en arquitectura sostenible Javier Manzanero, en su artículo “La Fachada vegetal de Jean Nouvel”, es: “una referencia técnica fiable para un uso seguro de las fachadas vegetales”. Estas normas establecen una serie de cuestiones básicas a regular y en las que ofrecer guías concretas:

- Dar las especificaciones mínimas de calidad en el proceso constructivo de las cubiertas verdes y los jardines verticales.
- Definir las características de calidad de los materiales a utilizar.
- Fijar la terminología relativa a las cubiertas verdes.
- Fomentar la calidad en su proyección, ejecución y mantenimiento.
- Servir de base técnica para los responsables de los proyectos.
- Facilitar los cálculos necesarios en el diseño y proyecto.
- Asistir a los responsables de la ejecución y del mantenimiento.

- Facilitar la gestión y comercialización al sector productor.
- Facilitar la comparación y elección de productos y procesos constructivos.

Certificación ambiental de edificios LEED

Como parte del estudio de normativas actuales, se ha identificado el sistema de certificación LEED, que si bien no es una regulación de obligado cumplimiento, sí ha supuesto un impulso muy importante para el desarrollo de las estructuras verdes urbanas y de la mejora de la sostenibilidad en los edificios.

LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) es un sistema de certificación de proyectos que se aplica tanto a viviendas unifamiliares de nueva construcción como a la rehabilitación de bloques o incluso barrios. Fue desarrollada en 1993 por el US Green Building Council, y contiene una serie de normas y requisitos con las que se puede tener la seguridad de que los edificios que las cumplen sean sostenibles.

El objetivo fundamental de esta certificación es promover la construcción y las reformas con las que los edificios presenten una alta eficiencia energética, para lo que se busca la ecoeficiencia y todos los sistemas pasivos de reducción de consumos. El certificado premia, y por tanto potencia, el uso de estrategias sostenibles en todos los procesos de construcción del edificio, buscando causar el menor impacto ambiental. Incluye entre los aspectos a evaluar el uso eficiente de energía y agua; la selección de materiales sostenibles y poco contaminantes; la elección de la parcela en que se edificará, y el poder tener una buena calidad medioambiental en el interior.

La certificación LEED evalúa los edificios de acuerdo con los siguientes criterios:

- Sostenibilidad en los materiales y recursos en la construcción.
- Eficiencia y aprovechamiento del agua, tanto durante la construcción como durante el tiempo de vida del edificio. Para ello se requieren sistemas de reutilización del agua y minimización de fugas).
- Eficiencia energética desde la construcción, tomando medidas de las emisiones netas de CO₂.
- Calidad del ambiente interior que permita una buena habitabilidad del edificio, minimizando la necesidad de energía para climatizarlo.
- Innovación en el proceso de diseño, dando protagonismo a todos los recursos ecoeficientes.

De entre todos estos criterios, el que más puntúa es, sin duda, la eficiencia energética, pues se considera el más importante de cara a reducir el impacto sobre el medio ambiente. Y para una buena puntuación en ese criterio, el uso de vegetación es un elemento fundamental.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado



Imagen 4: sello de Certificación LEED. Fuente: Certicalia.com

La certificación LEED no solo aporta el prestigio y la imagen de saber que el edificio en cuestión es sostenible y respetuoso con el medio ambiente, sino que también supone una serie de beneficios para sus propietarios o constructores:

- Al ser más eficiente en el uso de agua y energía los costes de operación se reducen, mientras que el valor del inmueble aumenta.
- Se reducen los residuos que se envían a los vertederos, con el ahorro económico del traslado de estos, además de evitar el impacto que supone eliminar esos residuos en la naturaleza.
- Edificios más saludables y seguros para sus ocupantes, dada la mejor calidad del aire interior.
- Se reduce la emisión a la atmósfera de gases nocivos de efecto invernadero, lo que a medio plazo es probable que suponga evitar sanciones o multas.
- Los propietarios pueden beneficiarse de desgravaciones fiscales por contar con este tipo de construcción. Además, en algunos municipios, se mejoran los permisos de zonificación y se obtienen otro tipo de incentivos.

Además de la certificación para edificios, el sistema LEED ofrece acreditaciones profesionales, a través de sus propios cursos, para aquellos profesionales que los completen. De manera que adquieran los conocimientos necesarios para garantizar que la construcción o reforma de edificios se haga siguiendo los estándares del certificado y, por tanto, se pueda conseguir la certificación LEED.

Actualmente existen más de 14.000 construcciones en el mundo con certificación LEED. Cada vez hay más negocios como supermercados, oficinas o restaurantes que realizan reformas para obtener esta certificación y aprovecharse de sus ventajas; así como más normativas que recomiendan y premian económicamente el disponer de esta certificación.

Por ese motivo resulta muy interesante el conocerla a fondo para desarrollar el modelo de negocio de cubiertas verdes y jardines verticales, pues supone un elemento extra muy interesante para ofrecer a los clientes, y no se desvía en exceso del campo de estudio.

2.4 Fondos e Iniciativas de potenciación y desarrollo

En base al estudio realizado sobre los jardines verticales y en tejados se puede afirmar que constituyen una infraestructura excelente para desarrollar en lugar, o como complemento, a la construcción convencional; ofreciendo múltiples beneficios en diversos ámbitos y, muy especialmente, en la reducción de emisiones netas y de contaminación. Por este motivo se han identificado como una herramienta muy útil para contribuir en la lucha contra el cambio climático, que es uno de los mayores desafíos del siglo XXI. Esta es la causa de que en Europa y en España, que es donde se centra este proyecto, se esté incentivando el desarrollo de la construcción verde y del uso de este tipo de infraestructuras a través de diversas iniciativas.

La primera de esas iniciativas, que ha marcado unas líneas muy claras de actuación y desarrollo para los años siguientes fue adoptada por la Comisión Europea en junio de 2013. Se trata de una estrategia destinada a fomentar el uso de las infraestructuras verdes al reconocer que constituyen una de las principales herramientas para abordar las amenazas a la biodiversidad, así como para integrar la biodiversidad en otras políticas contribuyendo al cumplimiento de las Directivas europeas (Directivas Marco del Agua, Inundaciones, Aves y Hábitats) y a los objetivos de la Estrategia de la UE sobre la biodiversidad hasta 2020.

Esta estrategia se centraba en:

- Fomentar las infraestructuras verdes en los principales ámbitos (agrícola, forestal, política regional y de cohesión, de mitigación y adaptación al cambio climático, de transporte, de energía) estando previsto el desarrollo de una serie de directrices para mostrar cómo se pueden integrar en la aplicación de estas políticas de 2014 a 2020.
- Mejorar la investigación y el estudio y tratamiento de los datos, consolidar la base de conocimientos y fomentar las tecnologías innovadoras de apoyo a las infraestructuras verdes.
- Facilitar el acceso a la financiación destinada a proyectos de infraestructura verde mediante la creación de un mecanismo de financiación de la Unión Europea.
- Ofrecer apoyo a proyectos de infraestructura verde a escala de la Unión Europea, para lo cual, la Comisión ha puesto en funcionamiento un estudio para evaluar las posibilidades de desarrollar una red de infraestructuras verdes que permita compartir tecnología y soluciones entre los países miembros.

A partir de esta estrategia, que sirvió como primer impulso para las Infraestructuras Verdes y abrió el camino para fomentar su desarrollo y su crecimiento, se han ido desarrollando otros planes y proyectos tanto en el ámbito de la Unión Europea como en España:

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- Proyecto de Infraestructuras verdes urbanas y periurbanas desarrollado por el Congreso Nacional de Medioambiente (Conama) en 2014.
- Plan de Inversiones del Pacto Verde Europeo, que busca conseguir que la Unión Europea sea neutra en emisiones en 2050.
- Fondos “Next Generation EU” para financiar el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia “España Puede”.
- Programa Horizon Europe 2030, en concreto las estrategias de adaptación de las ciudades al cambio climático.

2.5 Efectos positivos de los jardines verticales y las cubiertas verdes

En primer lugar, a modo de introducción para este capítulo, se va a mostrar, desde un punto de vista meramente cualitativo, los principales beneficios y efectos positivos que estos jardines y cubiertas verdes pueden proporcionar. Dichos beneficios se pueden dividir o estructurar en cuatro bloques principales: descarbonización y lucha contra el cambio climático, salud ambiental, ahorro económico y cuidado de la biodiversidad.

- En el bloque de la descarbonización y la lucha contra el cambio climático se distinguen los siguientes efectos positivos:
 - Captura de CO₂.
 - Captación de metales pesados y demás gases tóxicos o de efecto invernadero.
 - Reducción del consumo energético del edificio y, por tanto, de las emisiones asociadas.
 - Posibilidad de recuperar el agua de lluvia y utilizarla en los edificios sin necesidad de someterla a procesos de potabilización o depuración, reduciendo así el impacto medioambiental del ciclo del agua.
- El ámbito de la salud ambiental incluye todos aquellos beneficios que pueden mejorar la calidad de vida y las condiciones físicas y psicológicas de los habitantes de las ciudades:
 - Reducción de la contaminación acústica.
 - Producción de oxígeno.
 - Disminución del fenómeno de isla de calor en el centro de las ciudades.
 - Atenuar el estrés: un estudio realizado por la doctora MaryCarol Hunterla, de la Universidad de Michigan, concluyó que pasar 20 minutos al día en contacto con la naturaleza permite reducir los niveles de cortisol, la hormona asociada al estrés.

- Desde el punto de vista económico la integración de estas estructuras verdes en nuestra edificación presenta las siguientes ventajas:
 - Reducción del consumo energético del edificio y, por tanto, del coste de la energía.
 - Posibilidad de recuperar el agua de lluvia y utilizarla en los edificios sin necesidad de someterla a procesos de potabilización, reduciendo así la factura del agua.
 - Desarrollo de una nueva industria que producirá empleos para la digitalización de los sistemas de riego, la construcción de los jardines, el desarrollo e instalación de sistemas de drenaje, el cuidado y desarrollo de plantas, etc.
 - Revalorización de los edificios y espacios en los que se instalen este tipo de jardines.
 - Aumento de la vida útil de la cubierta, ya que la barrera de vegetación permite protegerla de la radiación solar, las tormentas y los cambios bruscos de temperatura.
- Respecto al cuidado de la biodiversidad en las ciudades se identifican los siguientes beneficios:
 - Aumentar la presencia de insectos y aves que acuden atraídos por los espacios verdes.
 - Contribuir al desarrollo de corredores verdes, combinando estas estructuras con parques y grandes jardines, que permitan la circulación de especies.
 - Ofrece la posibilidad de disponer de huertos urbanos en los que cultivar nuestros propios productos.

2.5.1 Estudio de Akira Hoyano e Hiroyuki Yamada en Tokio

Una vez establecidos los múltiples beneficios que puede generar la implantación de los jardines verticales y las cubiertas verdes, el siguiente paso es disponer de estudios cuantitativos que ofrezcan unos valores de referencia. En ese sentido, la primera investigación verdaderamente profunda y completa que se ha realizado sobre los beneficios de los jardines verticales y las cubiertas verdes es el estudio llevado a cabo por los profesores Akira Hoyano e Hiroyuki Yamada, del Instituto Tecnológico de Tokio, que en 2012 analizaron los efectos generados por un jardín intensivo estándar de 60 m² ubicado en la propia ciudad de Tokio. A continuación, se exponen las conclusiones de dicho estudio:

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- El jardín absorbe 40 toneladas de CO₂ y 15 kg de metales pesados al año.
- El muro exterior sobre el que se instala este tipo de jardín tiene, de media, 4°C menos de temperatura que otros muros de la zona durante el verano.
- Cada m² de jardín con este tipo de vegetación produce el oxígeno consumido diariamente por una persona.
- Cada m² de jardín con este tipo de vegetación captura 140 g de polvo en suspensión al año.
- Mediante este jardín se logra una reducción del ruido de 10 dB.
- En las condiciones de Tokio (clima y tarifas eléctricas), se conseguía un ahorro en climatización de 500 €/m² de jardín.

Para contextualizar convenientemente estos datos y entender la magnitud de los beneficios generados por este tipo de jardín, se ha investigado acerca de los valores de referencia actuales respecto a las emisiones, la producción de oxígeno, los niveles de ruido, etc.

- Con los vehículos actuales, esas 40 toneladas de CO₂ equivalen a las emisiones producidas al recorrer 400.000 km; que para los datos de España supone compensar las emisiones anuales de, aproximadamente, 25 coches.
- La OMS asegura que, para una correcta calidad del aire, se debe disponer de un mínimo de 3 árboles por cada 10 habitantes. Madrid, que es la 3^a ciudad con más superficie verde por habitante de España, tiene más de 3,2 millones de personas y apenas 300.000 árboles. Por tanto, esa producción de oxígeno resulta una contribución fundamental a la salud ambiental.
- En las ciudades se produce una contaminación acústica media de entre 50 y 90 dB, debido fundamentalmente al tráfico; y se considera que cualquier sonido superior a los 65 dB resulta molesto; y por encima de los 75 dB dañino para la salud. Por lo que toda ayuda a reducir ese nivel de ruido tiene un valor importante.
- Según la OCU (Organización de Consumidores y Usuarios), tomando como temperaturas estándar de interior los 19 – 24°C, cada grado extra de diferencia que se busque entre el interior y el exterior (aumentando la temperatura en invierno o reduciéndola en verano) supone un consumo energético extra del 4-5%. Por lo que esa reducción de la temperatura en 4°C supone un ahorro de entre el 16% y el 20% del consumo en climatización.

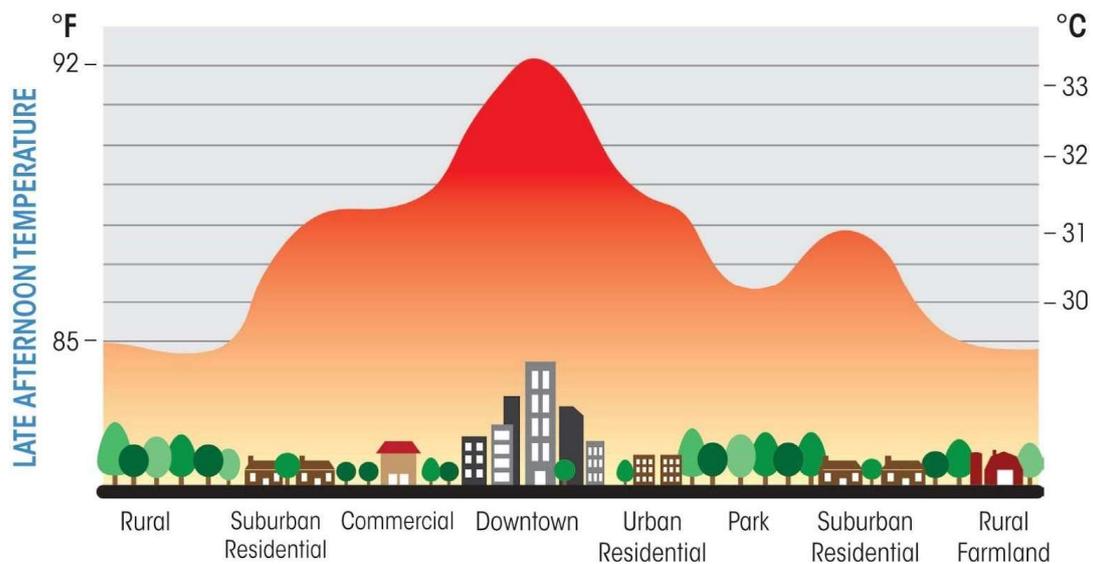


Imagen 5: efecto de la isla de calor. Fuente: Fundación Triodos, análisis del estudio de los profesores Hoyano y Yamada

2.5.2 Estudio de grandes jardines verticales y en tejados

En el proceso de estudio e investigación que se ha realizado sobre los efectos positivos de los jardines verticales y las cubiertas verdes se han encontrado una serie de ejemplos muy representativos a nivel mundial sobre los que se han realizado diversos estudios para medir sus efectos y sus beneficios. En este apartado se procede a mostrar la información recopilada sobre cuatro de esos jardines, centrándose en esos beneficios, y dejando para otro capítulo el estudio de su funcionamiento, sus elementos diferenciadores en cuanto a diseño, instalación, etc.

1. Santalaia, Bogotá: Esta estructura, instalada en 2016, fue, en ese momento, el muro vegetal más grande del mundo con más de 3.100 metros cuadrados. Su cobertura vegetal está compuesta por cerca de 115.000 plantas de 10 especies y 5 familias diferentes.

Es una obra de la empresa valenciana Paisajismo Urbano, que llevó a cabo un análisis propio de los efectos medioambientales del jardín alcanzando las siguientes conclusiones:

- Produce el oxígeno necesario para 3.100 personas al año, misma conclusión del estudio de Hoyano y Yamada.
- Capta anualmente 403 kg de polvo.
- Filtra 2.077 toneladas de gases nocivos al año.
- Procesa 837 Kg de metales pesados por año.
- Compensa la huella de carbono generada por 700 habitantes de Bogotá.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado



Imagen 6: Jardín de Santalaia, Bogotá. Fuente: Paisajismo Urbano

2. Nanjing, China: este muro vegetal, cuya instalación se completó en 2018, es, desde entonces, la mayor fachada vegetal del mundo con 6.000 metros cuadrados; y se ubica en las torres Nanjing, en China. Se trata de un sistema que combina 1.100 árboles, 600 altos y 500 medianos, de 23 especies distintas, y 2.500 plantas.

Es obra del estudio de arquitectura italiano Stefano Boeri Architetti, y constituye el primer jardín vertical de China. De acuerdo con el análisis de este estudio los beneficios ambientales de este jardín son:

- Genera 60 kg de oxígeno al día, equivalente al consumo de entre 5.200 y 5.600 personas.
 - Absorbe 250 toneladas de CO₂ al año, compensando las emisiones de 150 coches.
3. Tree House, Singapur: ubicado en un edificio residencial de 24 pisos del distrito 23 de Singapur, con una superficie de 2.289 m² fue el jardín vertical más grande del mundo desde su construcción en 2014 hasta que lo destronase el de Santalaia en 2016. Es una obra del estudio City Developments Limited, que combinó el jardín con el uso de paneles solares en la cubierta (1.520 m²), y cálculo los siguientes efectos positivos del conjunto:
 - Ahorro de 2.400.000 kWh anuales en climatización.
 - Ahorro de 30.000 m³ anuales de agua

- Ahorro económico de 550.000 € al año.



Imagen 7: Jardín de Tree House, Singapur. Fuente: Tree House Condo

4. CaixaForum, Madrid: este conocido jardín vertical ubicado en el Paseo del Prado fue diseñado en 2008 por Patrick Blanc, el pionero en el uso de muros vegetales. Desde entonces se ha podido media un efecto claro sobre el edificio:
 - Reducción de la temperatura del muro en 3 °C en verano y aumento en 2 °C en invierno.

El conjunto de estos estudios permite adquirir una idea muy clara de los múltiples beneficios generados por los jardines verticales y las cubiertas verdes. Por este motivo, se puede concluir que resulta muy conveniente impulsar su mayor desarrollo y uso en las ciudades, pues constituyen una herramienta muy útil en la lucha contra el cambio climático, con aplicación en uno de los entornos que más deben reducir su huella ambiental: las ciudades. Como consecuencia de esa necesidad, se debe valorar también las posibilidades de negocio que abre. A modo de resumen de estos beneficios se adjunta el siguiente cuadro:

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Ambientales	Captación de CO ₂ y otros gases nocivos Captura de polvo Absorción de metales pesados Producción de oxígeno Reducción de la contaminación acústica Cuidado de la biodiversidad Ahorro de agua Reducción del consumo energético y de las emisiones asociadas
Sociales	Mejora de la salud ambiental y de la calidad de vida Puesta en valor de espacios urbanos degradados Desarrollo de actividades sociales y educativas en espacios verdes
Económicos	Reducción del gasto energético en climatización Revalorización de los edificios Disminución del gasto en agua Generación de empleo verde y digital

Tabla 2: beneficios de los jardines verticales y las cubiertas verdes. Elaboración propia

2.6 Soluciones ya existentes

En este apartado se van a mostrar distintas soluciones o sistemas para la construcción e instalación de los jardines verticales y las cubiertas verdes que ya se están comercializando; tratando de identificar las cuestiones clave de su funcionamiento, así como las principales diferencias entre unos y otros para entender cuál de ellos es más adecuado según el contexto.

2.6.1 Soluciones para jardines verticales

A la hora de diseñar y montar jardines verticales resulta fundamental definir una serie de cuestiones previas: ubicación en el interior o exterior, tamaño del jardín, y uso de sustrato orgánico o cultivo hidropónico.

Disponer un jardín interior o exterior marcará la vegetación a utilizar y la necesidad de aislantes, si bien, para jardines de interior de grandes dimensiones es habitual emplear las mismas estructuras que para los jardines exteriores. Entre los jardines de interior se deben distinguir aquellos que disponen de iluminación natural (mediante claraboya o ventanas) de los que no la tienen. Ya que en estos últimos será necesario emplear lámparas con las que proporcionar luz artificial, lo que es una complicación extra para el diseño.

El tamaño del jardín definirá la necesidad de disponer de sistemas más o menos automatizados. En principio todo jardín de más de 4 metros de altura debería disponer de sistemas automatizados y autogestionables que limiten la acción humana a las averías importantes; pues resultan difícilmente accesibles.

Los jardines de sustrato orgánico utilizan, como bien indica su nombre, ese sustrato orgánico como medio de crecimiento de las plantas. Esto hace que las necesidades de abono sean menores, pero por otro lado cuentan con menos durabilidad y más necesidad de mantenimiento; ya que el sustrato orgánico tiende a degradarse y es hay que sustituirlo periódicamente. Suelen recomendarse para jardines pequeños sobre los que se pretenda realizar un mantenimiento periódico, como si se tratase de un jardín convencional.

Los jardines hidropónicos presentan un sustrato inerte que no aporta nada a las plantas, por lo que éstas sí requieren de abono continuo. Esto hace que se deba diseñar un sistema de regado y abonado más complejo, pero a cambio apenas hay necesidad de mantenimiento manual. Es el sistema más utilizado, especialmente en jardines grandes que presentan un mantenimiento automatizado.

Dado que este proyecto está orientado, fundamentalmente, al desarrollo de jardines de grandes dimensiones, el análisis se centrará en los sistemas de jardín hidropónico. No obstante, en el anexo se añadirá una posibilidad de sistema de sustrato orgánico para disponer también de esa opción.

Así, comienzo por introducir la primera opción de jardín vertical para interior, el F+P de SingularGreen.

Sistema F+P de Singular Green

El primer sistema que se ha decidido incorporar al portfolio de soluciones para jardines verticales es el sistema F+P, desarrollado por la empresa SingularGreen, con sede en Alicante, que comercializa desde hace años varias soluciones y sistemas adaptables a distintos tipos de jardines verticales y cubiertas verdes.

Este sistema, pensado para jardines verticales de tamaño medio o grande, se compone de 4 elementos:

- Un rastrelado formado por perfiles de aluminio, para evitar la corrosión y los fallos estructurales que ésta provoca, que sirve como soporte para el resto de la estructura y genera una cámara de aire trasera.
- Panel SG-P10 de 10 mm de espesor que genera una capa impermeable protegiendo la pared.
- Sustrato SG-M500: una capa geotextil que sirve de sustrato para las plantas y queda atornillado al panel. Permite, retener el agua y drenar a las plantas manteniendo la aireación que necesitan las raíces.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- Sistema de riego SG-A24: es un sistema hidropónico automatizado de riego y abono con goteros autocompensantes integrados y un canal de recogida de aguas en la parte inferior. Por recomendación del fabricante debería incluirse en todo jardín de más de 20 m², aunque queda a elección del cliente.

Un elemento indispensable del diseño e instalación de estos jardines de interior es el instalar un punto de luz, a no ser que se disponga de iluminación natural.

Como se ha expuesto antes, para jardines verticales de gran tamaño se tiende a utilizar las mismas estructuras independientemente de que sean de interior o exterior. Sí que cambiará la vegetación a utilizar, pero esa es una cuestión que se afrontará en otro capítulo. Por ese motivo no se presentarán más opciones específicas para jardines interiores, y se pasará a mostrar las soluciones estudiadas para jardines verticales en general.

Sistema F+P Cold de Singular Green

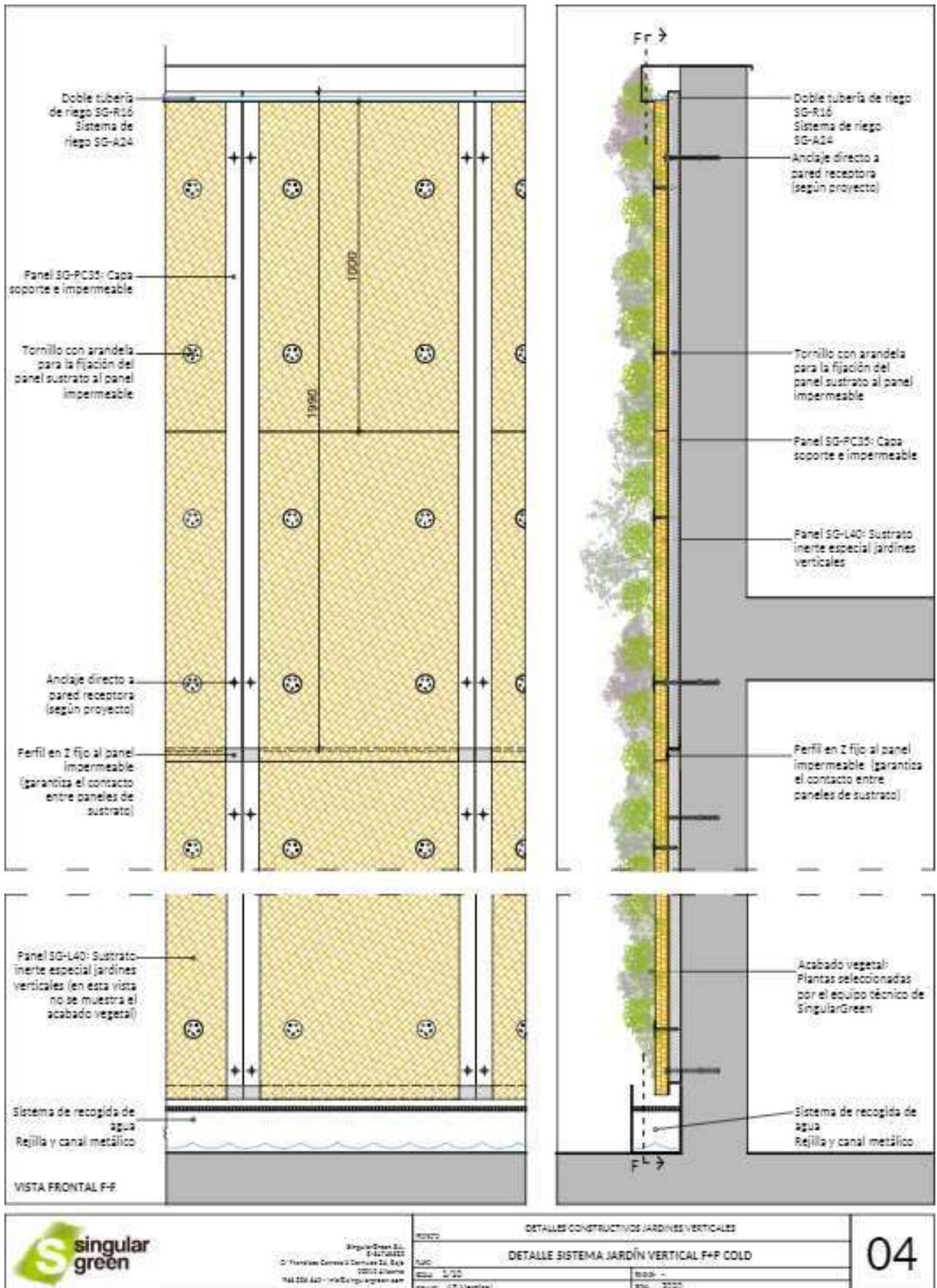
El primer sistema que se ha decidido incorporar a las posibles soluciones para jardines exteriores es el sistema F+P Cold, hermano del F+P, pero especialmente adaptado para resistir temperaturas extremas. Es un sistema de anclaje para muros o fachadas verdes compuesto por cuatro elementos:

- Panel SC-PC35 100% reciclado, provisto de una cámara de aire de 10 mm de espesor que actúa como sistema de seguridad garantizando la estanqueidad del muro.
- Pieza de unión de aluminio: sirve de conector entre los paneles y para recoger el agua que pierden los módulos y recircularla por la estructura, manteniendo la humedad y maximizando el aprovechamiento del agua empleada en el riego.
- Sustrato inerte SG-L40-100, que se coloca sobre el panel SG-PC35 mediante fijación mecánica; es un panel de lana de roca con capacidad para retener el agua y garantizar la aireación. La lana de roca permite absorber un volumen de riego entre 6 y 10 veces superior al que necesite el jardín. Además, incluye perforaciones (número y tamaño a decisión del cliente) para depositar las plantas en su interior.
- Sistema de riego hidropónico SG-A24, con control automatizado de riego y abono. El contacto directo entre los paneles de sustrato hace que únicamente se necesite instalar una doble tubería SG-R16 en la parte superior del jardín, con goteros autocompensantes integrados. De esta forma el agua se distribuye por gravedad.

A continuación, se incluye su ficha técnica y un presupuesto solicitado para un jardín vertical de 36 m² empleando este sistema:

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado





PRESUPUESTOS Y MEDICIONES

Presupuesto nº: 2021213-1

JARDÍN VERTICAL F+P COLD EN SANTIAGO DE COMPOSTELA

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 1. JARDÍN VERTICAL F+P COLD									
1.1.	m2 Jardín vertical F+P Cold								
	<p>Suministro e instalación de jardín vertical modelo F+P Cold, formación de panel impermeable SG-P35 (100% reciclado), sustrato inerte especial para jardinería vertical SG-L40 de 40mm de espesor fijado mecánicamente y plantación de especies especialmente seleccionadas para el clima de la zona con una densidad de 30 plantas/m2. Incluida la instalación de riego del muro mediante doble tubería de riego SG-R16, sistema de riego y abonado automáticos mediante hidroponía SG-A24P adaptado a la escala del jardín vertical y canal metálico de recogida de aguas. Incluye telecontrol y telegestión del riego, con alertas instantáneas de fallos de riego, caudal, cortes eléctricos, etc. Completamente instalado, comprobado y funcionando.</p> <p>El jardín no tiene elementos de recirculación de las aguas funciona a aguas perdidas, conectado a desagüe existente (no incluido en el presente presupuesto). Incluye diseño del jardín. Incluye medios de elevación.</p> <p>No incluye obra civil necesaria para la colocación de los elementos de riego si fuera necesaria (apertura de hoyo, preparación y relleno del mismo, apertura de zanjas de tuberías, etc), chapa de remate superior. No incluye obras de preparación de la zona, impermeabilizaciones ajenas al sistema F+P COLD, cimentaciones ni encuentros perimetrales.</p> <p>El equipo de riego deberá ubicarse protegido de la intemperie y del acceso a personal no autorizado, para garantizar su durabilidad y evitar su manipulación por terceras personas no cualificadas. El punto de agua y de electricidad se supone junto a la zona de obras. No incluye acometidas hasta los puntos de servicio de agua y luz más cercanos, ni obra civil necesaria para la instalación y posterior salvaguarda de los elementos exteriores de riego.</p> <p>Mediciones proporcionadas</p>								
	- Jardín interior	1	6,00		6,00		36,00		
								36,00	402,74
									14.498,64
	TOTAL CAPÍTULO 1. JARDÍN VERTICAL F+P COLD.....								14.498,64
	TOTAL.....								14.498,64

Imagen 9: Presupuesto de Singular Green para jardín vertical de 36 m2. Fuente: Singular Green

Sistema Paisajismo Urbano

La segunda solución que se ha estudiado es el sistema patentado Paisajismo Urbano, desarrollado por la empresa española (sede en Valencia) del mismo nombre que ha acometido obras tan importantes como el jardín vertical de Santalaia en Bogotá; el más grande del mundo hasta 2018.

La principal innovación de este sistema es el anclaje empleado para disponer las plantas, que se compone de cuatro capas:

- La primera capa está formada por un rastrelado metálico de perfiles de acero galvanizado a dimensionar según requerimientos de los clientes, que sirve de base para la estructura.
- Sobre dicho rastrelado se colocan los paneles impermeables que conforman la segunda capa. Son paneles de aminoplástico Purb-750 de 10 mm de espesor con resistencia a temperaturas de entre -40°C y 55°C, con resistencia a la compresión

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

de 40 N/mm². Mediante estos paneles se pueden almacenar hasta 5 litros de agua por m², para que sirvan como reserva de agua.

- A continuación, se dispone una doble capa de material textil sintético que va anclada a esos paneles. Dicha capa de material textil funciona como soporte y como sustrato hidropónico de la cuarta y última capa. Además, en este tercer nivel también se ubica el sistema de riego, de manera que se tenga un acceso sencillo al mismo para acometer posibles reparaciones, ajustes o sustitución de elementos estropeados.
- La última capa es la cobertura vegetal final.

Esta sistema de capas separadas por cámaras de aire hace posible formar una estructura muy ligera, apenas 30 kg/m²; lo que permite disponer de vegetación más abundante y densa, mejorando la capacidad del jardín; o utilizarlo en edificios más antiguos o con menos capacidad de carga.

Además de la estructura física de este sistema, hay otro elemento diferenciador que está incorporados a los jardines verticales desarrollados por Paisajismo Urbano y merece una mención:

- Sistema de riego domotizado Biosystem: se trata de un sistema de riego inteligente desarrollado conjuntamente por la propia empresa y la universidad de Cádiz. Se analizará en profundidad su funcionamiento en el capítulo de digitalización y riego inteligente, comparándolo con otros sistemas existentes en el mercado.

A continuación, se muestra la ficha técnica del sistema:

JARDINES VERTICALES
Sistema Paisajismo Urbano (PU)
Sistema de construcción patentado
Patente número: P201030799



Detalle: Sistema Paisajismo Urbano (PU)

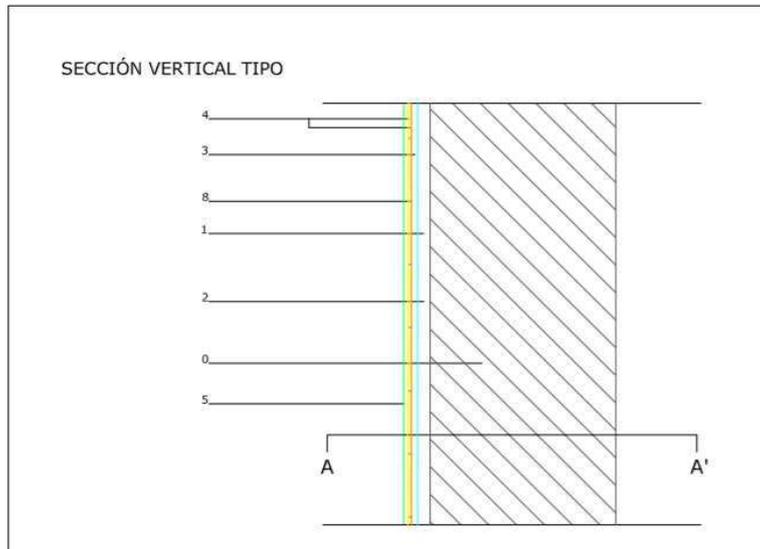


Imagen 10: Ficha técnica sistema Paisajismo Urbano: Sección vertical. Fuente: Paisajismo Urbano

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

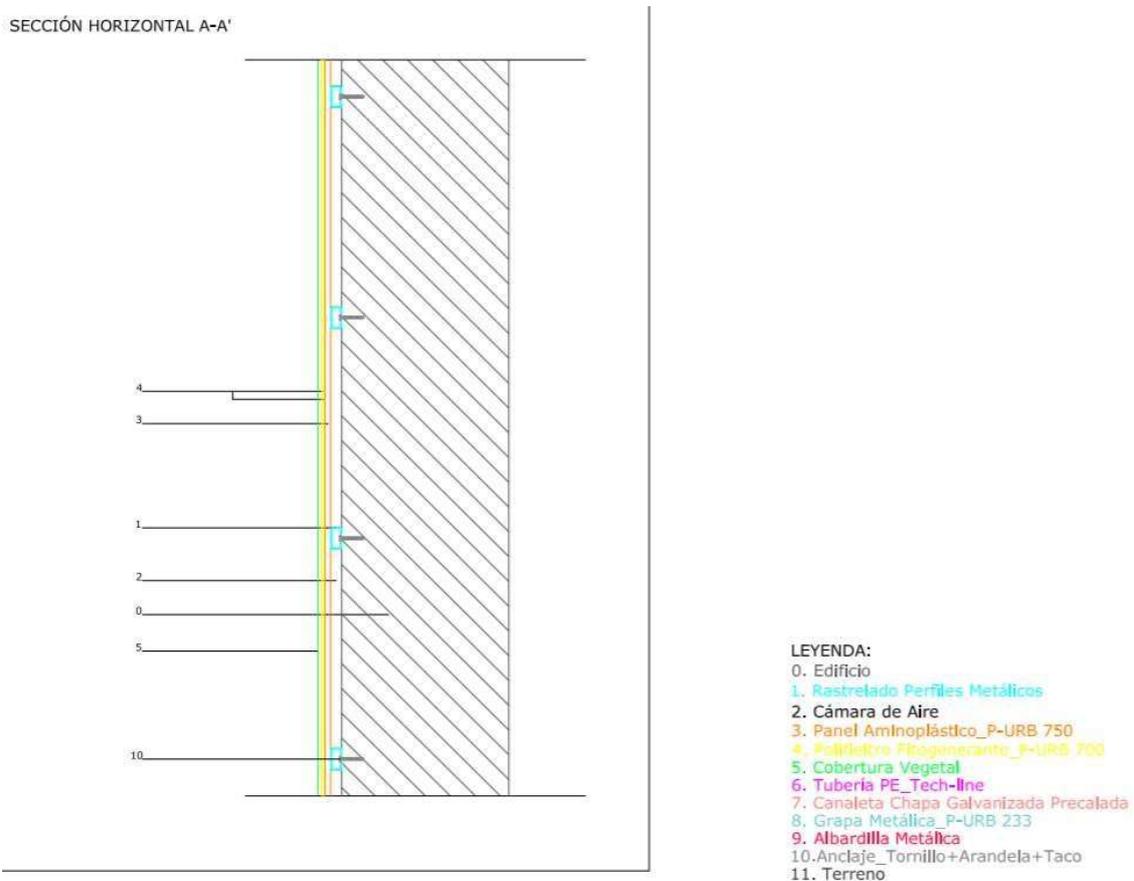


Imagen 11: Ficha técnica sistema Paisajismo Urbano: Sección horizontal y leyenda. Fuente: Paisajismo Urbano

Sistema Flexipanel de Sempergreen

El tercer sistema que se ha analizado es el flexipanel de Sempergreen, un sistema que se caracteriza por estar formado por módulos precultivados. A continuación se muestran las principales características de estos módulos:

- Los módulos miden 62 x 52 cm.
- Las plantas a incluir en los módulos vienen escogidas por el cliente, que puede escoger modelos estándar ya disponible en stock (tienen distintas combinaciones según el clima en el que se vaya a ubicar el jardín) o solicitar las plantas que prefieran.
- Cada Flexipanel tiene una canal en la parte superior para la tubería de goteo que se utiliza para suministrar tanto el agua como soluciones de nutrientes y fertilizantes a las plantas con un sistema de riego controlado en línea.
- El peso total del sistema varía según las plantas que se utilicen pero en los módulos estándar es de 45 kg/m².

- El Flexipanel es el único sistema de fachada verde que tiene el certificado de seguridad contra incendios europeo de la clase más alta, B-s2. Esto significa que se pueden utilizar incluso en vías de evacuación.

En la siguiente imagen se muestra cómo se construye una fachada verde mediante los flexipanel:

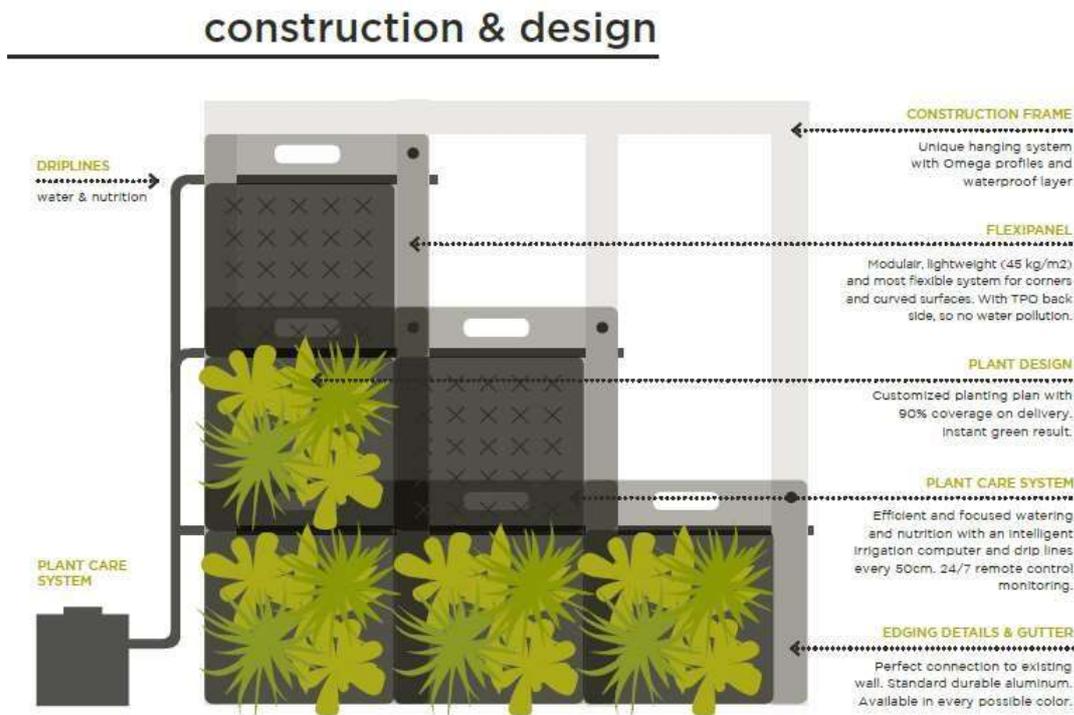


Imagen 12: muro verde con Flexipanel de Sempergreen. Fuente: Sempergreen

2.6.2 Soluciones para cubiertas verdes

De cara a diseñar y construir cubiertas verdes hay una serie de funciones que la cubierta debe ser capaz de llevar a cabo para lograr los mejores resultados de dicha cubierta reduciendo al máximo la necesidad de mantenimiento. Esas funciones, que puede cubrir un número mayor o menor de capas según cuestiones de peso, inversión, etc. son las siguientes:

- Impermeabilización (antirraíces y con durabilidad).
- Drenante.
- Retenedora.
- Filtrante.
- Sustrato.
- Protección del sustrato.
- Plantación.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Un factor básico que definirá el tipo de cubierta que se utiliza y el modo en que se disponen sus capas es el uso que se dará a la cubierta y la frecuencia y el número de personas que accederán a ella. Es fundamental tener claro si se busca una cubierta lo más autogestionable posible, a la que sólo se acceda en caso de avería, o si se desea plantear como un espacio lúdico en el que se pueda pasar tiempo, realizar actividades, pasear y demás. Por supuesto, también habrá que considerar cuestiones climáticas, el tipo de vegetación a utilizar etc. pero el primer paso es definir el uso que se le va a dar a la cubierta.

Como opción de poco mantenimiento, mínimo peso y capacidad para soportar la presencia de personas y mobiliario, se ha decidido incluir la solución de tapetes y rollos de césped y sédum de Topgrass:

Tapetes y rollos de césped y sédum Topgrass

Esta empresa comercializa una amplia gama de céspedes precultivados listos para ser instalados y utilizados en el momento. Trabajan con distintas mezclas en función de los niveles de precipitación del lugar dónde vayan a ubicarse, y en su estructura incluyen un sustrato arenoso que permite su colocación inmediata sobre las cubiertas, necesitando exclusivamente la previa colocación de una capa de aislante como lana de roca para asegurar la impermeabilidad del tejado.

Entre todas las opciones que ofrecen, en función del uso que se les vaya a dar, merece la pena destacar las siguientes:

- Mezcla Meditop: formado por gramíneas del tipo Festuca Arundinacea, se emplea en cubiertas a las que se tenga poco acceso, pues tienen muy poca propensión a enfermedades y escasa necesidad de mantenimiento, pero poca resistencia a la presencia de personas.
- Tradicional: mezcla de Ray Grass Inglés, Poa Pratensis y Festuca Rubra, especialmente indicado para espacios de uso recreativo por su capacidad de recuperación y su alto valor estético.
- Top Sport: mezcla de Ray Grass Inglés y Poa Pratensis, se utiliza en espacios deportivos o con uso intensivo; como en cubiertas donde se vayan a disponer piscinas, terrazas, etc.
- Top Sédum: mezcla de distintas variedades de sédum (género de plantas perennes muy adaptadas a la sequía y las temperaturas frías) que está especialmente indicada para ubicaciones secas y espacios poco accesibles y con dificultad para llevar a cabo un mantenimiento.

De cara a adaptarse a todo tipo de cubiertas y acceso se dispone de todas las mezclas en los siguientes formatos:



Imagen 13: soluciones comercializadas por Topgrass. Fuente: Topgrass

Para el uso y mantenimiento de estas cubiertas se ofrecen también sistemas de riego automatizado mediante depósitos ubicados sobre la propia cubierta y una canalización que recorre el suelo y riega mediante goteo.

Desde un punto de vista medioambiental, buscando el mayor efecto beneficioso posible, este tipo de cubiertas resulta pobre; pues la vegetación que contiene presenta tasas muy bajas de captación de CO₂ y producción de oxígeno. Respecto al ahorro de energía son un poco mejores, pues sí ofrecen cierto aislamiento; pero también quedan lejos de las cubiertas intensivas. La gran ventaja de este sistema es el peso, lo que abre la posibilidad de emplearlas en dos contextos:

1. Edificios antiguos con poca capacidad de carga.
2. Cubiertas de tipo recreativo en la que haya ya otros espacios como piscinas, terrazas o pistas deportivas que limiten al máximo las posibilidades para añadir peso.

Sistema Cántir de Singular Green

Es una cubierta con sistema de riego por goteo integrado que presenta una gran versatilidad ya que, según el espesor de sustrato que se disponga, se pueden llegar a plantar especies de árboles. En función de la vegetación que se quiera disponer en la cubierta, el espesor de la cubierta puede variar entre los 17 y los 60 cm. Está conformada por 7 capas:

- Lámina de EPDM para impermeabilizar el tejado.
- Capa GTX-100-SG geotextil de separación.
- Capa drenante y retenedora LN-20-SG.
- Capa absorbente y filtrante MR-500-SG geotextil.
- Sustrato orgánico con distintos componentes y espesor en función del acabado vegetal.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- Sobresustrato: capa de grava volcánica.
- Sistema de riego enterrado: tuberías de 16 mm de diámetro con goteros integrados.

El único mantenimiento que requiere es la retirada de especies no deseadas, y, según la vegetación escogida, el aporte de nutrientes específicos.

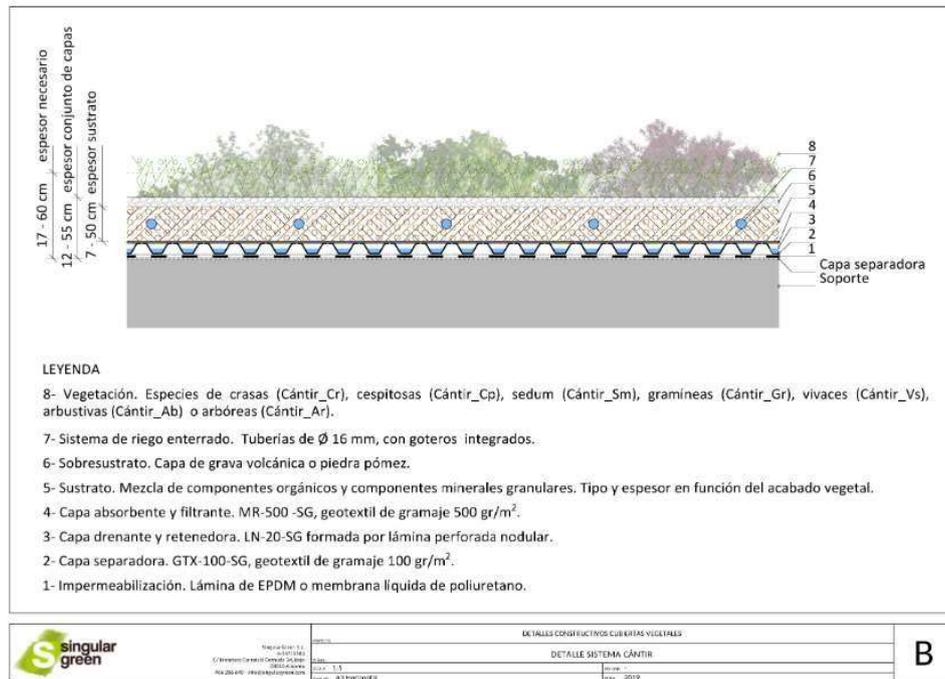


Imagen 14: Ficha técnica Cubiertas Cántir. Fuente: Singular Green

Sistema Garoé de Singular Green

Basado en el funcionamiento del árbol garoé, que es capaz de captar el agua de la humedad ambiente para abastecerse incluso con precipitación nula. En el caso de la cubierta se utiliza un sistema de almacenamiento de agua mediante un aljibe lo que proporciona 3 ventajas:

- Evita la necesidad de riego
- Permite un gran aprovechamiento del agua de lluvia.
- Optimiza el comportamiento térmico, mejorando la aislación.

De esta forma, la cubierta garoé permite sustentar cualquier tipo de sustrato y de vegetación que tenga unas necesidades bajas de precipitación, y lo hace con unas cargas estructurales realmente bajas.

La estructura de este sistema es idéntica a la de la cubierta Cántir con la diferencia de que, en lugar de una capa de retención de agua y posterior drenaje, utiliza una caja de rejilla comunicada con el aljibe para la acumulación de agua.

En esta cubierta se recomienda disponer especies de vegetación como el sédum, las gramíneas, las arbustivas o las vivaces. En función de la cantidad de vegetación que se decida colocar, lo que debe venir determinado por las precipitaciones del lugar, la cubierta tendrá una altura de entre 30 y 54 cm; y un peso que no debería exceder los 30-35 Kg/m² sin incluir el agua almacenada en el aljibe, que estando lleno añadirá otros 15 Kg/m²; de manera que el peso total de la estructura no sobrepase los 50 Kg/m²; con lo que debería ser asumible para la gran mayoría de edificios que se encuentran en las ciudades; independientemente de su antigüedad.

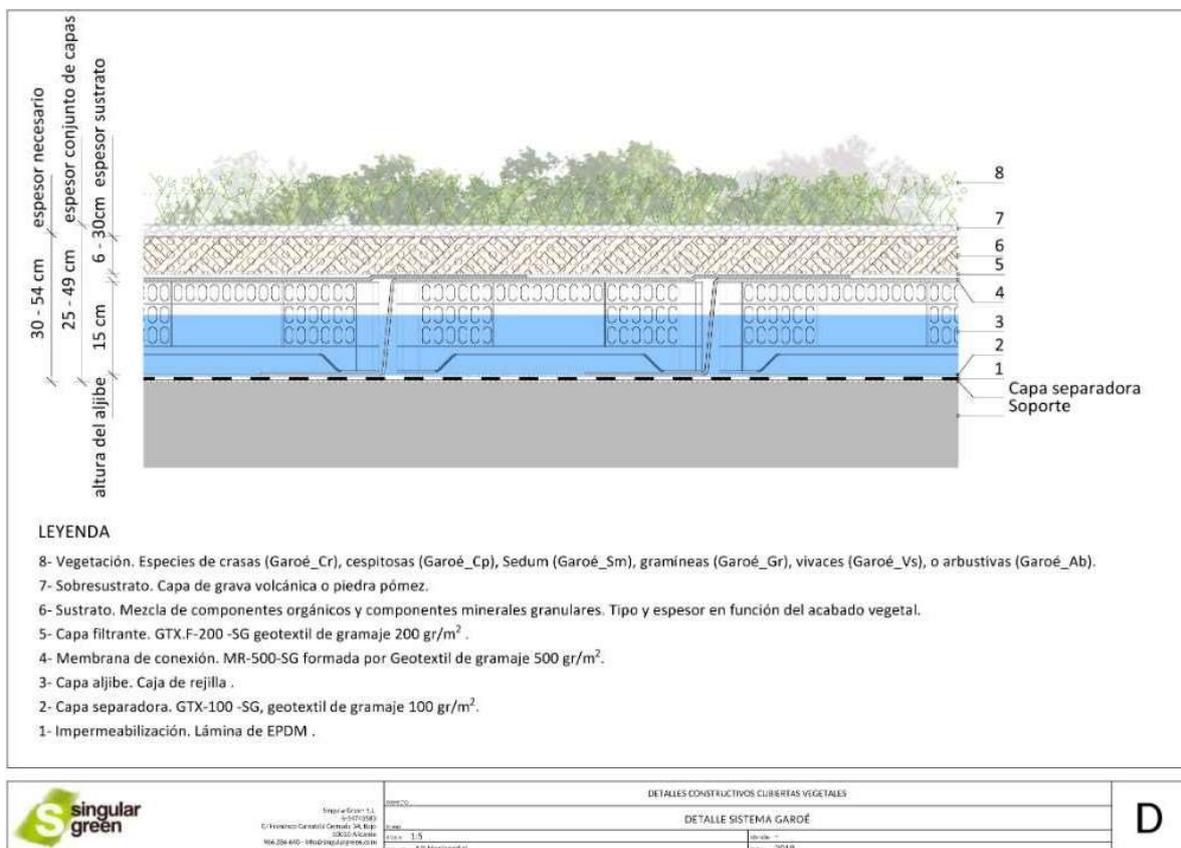


Imagen 15: Ficha técnica Cubiertas Garoé. Fuente: Singular Green

Además de estos modelos específicos de cubiertas, existe la opción de emplear los mismos sistemas que se han analizado para su uso en los jardines verticales; como el F+P y F+P Cold, el Paisajismo Urbano y el sistema Flexipanel. Dado que las cubiertas presentan menos complicaciones para su instalación no requieren de los mismos sistemas de anclaje, por lo que se pueden encontrar soluciones más baratas como las ya expuestas; si bien para edificios sometidos a vientos importantes o sobre los que se quiera disponer de una cubierta intensiva con árboles de gran tamaño sí sería una opción recomendable.

**Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha
contra el cambio climático y salud ambiental**

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

En otro capítulo se mostrará, de manera específica, el conjunto de soluciones que resultan más interesantes para aprovechar al máximo el agua de lluvia, permitiendo tanto su uso para regar la cubierta; como su posterior aprovechamiento por parte del edificio. Estos sistemas son también tipos de cubiertas; pero presentan una complejidad mayor, de ahí que se haya decidido tratar en otro capítulo.

Capítulo 3: Digitalización: recopilación de datos, control y toma de decisiones

Como ocurre en todos los sectores con un mínimo desarrollo tecnológico, la digitalización, la recopilación y análisis de datos, y la automatización de los procesos constituyen un elemento básico para el desarrollo de este campo. Ofrece las mayores posibilidades de desarrollar una ventaja competitiva que permita ofrecer servicios más baratos, eficientes y con una respuesta más rápida ante cualquier problema o cuestión a resolver. Además, desde un punto de vista económico, el desarrollo de sistemas que puedan catalogarse como Smart o de nueva generación, abre la posibilidad de optar a financiación europea o nacional, pues son muchos los programas de impulso y potenciación de la digitalización.

En este capítulo se va a presentar, en primer lugar, un análisis de las herramientas de toma de datos, control y toma de decisiones presentes actualmente en el sector de la jardinería y el cuidado de parques y vegetación; identificando los aspectos más importantes de dichas herramientas y tratando de entender cuáles deben ser los pasos a seguir de cara a desarrollar sistemas más completos y versátiles, para, en definitiva, ofrecer un mejor servicio.

El primer elemento de digitalización que se va a analizar es el más importante y desarrollado en este momento: el riego inteligente.

3.1 El riego inteligente

El riego inteligente comprende toda una serie de sistemas que comparten el objetivo de ahorrar agua, y por tanto dinero, en los cultivos agrícolas, parques y jardines. Es una industria que está en funcionamiento desde inicios del siglo XXI y que en los últimos años se encuentra en plena fase de crecimiento; motivado por la mayor escasez de agua y el aumento de los precios.

Para ilustrar esa situación de aumento de la escasez de agua a nivel mundial se puede acceder a los datos presentados por Naciones Unidas en el informe sobre cambio climático que publicaron en noviembre de 2020:

- En América Latina la disponibilidad de agua por habitante ha disminuido en un 22% en los últimos 20 años.
- Más del 60% de las tierras de cultivo de regadío del mundo sufre una gran escasez de agua.
- El 20% de los terrenos agrícolas del mundo sufren de falta de agua.
- Con el crecimiento de la población se prevé que en 2050 las áreas de regadío del mundo se hayan duplicado respecto a 2010.

- Los biocombustibles requieren entre 70 y 400 veces más agua que los combustibles fósiles clásicos.

Desde el punto de vista exclusivamente económico también existen datos muy esclarecedores respecto al aumento en el coste del agua. Por ejemplo, en España, el agua ha aumentado su precio, de media, en un 93% entre el 2000 y 2016; habiendo comunidades como Madrid o Cataluña en las que se prácticamente se ha triplicado. A continuación, se presenta el gráfico que recoge dicho aumento:



Imagen 16: Evolución del precio del agua en España entre 2000 y 2016. Fuente: iagua.es

En base a la investigación realizada sobre los sistemas de riego inteligente, se pueden distinguir los siguientes elementos como cuestiones básicas de sus funciones y del servicio que pueden prestar actualmente:

- Toman medidas de temperatura y humedad del suelo.
- Ofrecen la opción de posponer y/o adelantar el riego según las lluvias o la intensidad solar.
- Permiten establecer distintas necesidades de riego para distintos sectores con un mismo sistema, en función de la vegetación que se tenga en ellos.
- Aseguran tasas de ahorro de agua y fertilizantes, que oscilan entre el 10-20% en climas húmedos y el 30-40% en climas secos con tendencia a precipitaciones torrenciales.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- Hay un gran desarrollo del uso de sensores y de la comunicación con plataformas para el análisis de los datos.
- La principal carencia y, por tanto, oportunidad para desarrollar una ventaja competitiva es la inteligencia artificial; la toma de decisiones sin necesidad de participación de los técnicos.

A través de este estudio se ha identificado la posibilidad ya mencionada de desarrollar sistemas de inteligencia artificial, además de otros sistemas de control y seguimiento que puedan proporcionar más información y así permitir un análisis más profundo y completo de los espacios verdes. No obstante, antes de mostrar algunos de esos mejores sistemas de control, se va a ofrecer una explicación de las ventajas y beneficios generados por el uso de los sistemas de riego inteligente.

Para explicar la importancia de los sistemas de riego inteligente y sus efectos positivos se han estudiado investigaciones ya completadas por otras instituciones y empresas como, por ejemplo, el estudio “Eficiencia en el uso del agua en la jardinería en la Comunidad de Madrid” publicado en 2010 por el Canal de Isabel II en la serie “Cuadernos de I+D+i”.

3.1.1 Eficiencia en el uso del agua en la jardinería en la Comunidad de Madrid, Canal de Isabel II, 2010

Este estudio se hizo pensando en establecer las especies más adecuadas para su uso en parques y jardines de Madrid, centrándose en el consumo de agua que tendrían dichas especie. Para ello se analizaron cinco categorías de vegetación con diversas especies a comparar en cada categoría:

1. Césped: especies Classic y Sahara.
2. Arbustos: especies Fotínea, Hebe, Cornejo y Atriplex.
3. Árboles para setos: especies Aligustre y Leilandi.
4. Tapizantes: especies Vinca, Romero rastrero, Hipérico y Tomillo.
5. Flores: especies Petunia y Tajete.

El estudio comienza por realizar un análisis de los distintos sistemas de riego que se pueden emplear para el mantenimiento de distintos tipos de cultivo, con lo que desarrollan la tabla que se expone a continuación, en la que se muestran los consumos de esos sistemas de riego y esos tipos de cultivos en comparación con el césped regado mediante difusores estándar.

Alternativa	Dotación l / año m ²	Ahorro frente a césped con difusores l / año m ²	Costes de implantación € / m ²	Costes de mantenimiento a 10 años € / m ²	Costes de agua en 10 años € / m ²	Costes totales en 10 años € / m ²
Fotínea / Goteo	401	441	8,48 €	18,56 €	9,62 €	36,65 €
Aligustre / Goteo / Humedad	601	240	40,48 €	24,96 €	14,43 €	79,86 €
Classic / Hidrante	664	177	3,61 €	67,24 €	15,95 €	86,80 €
Classic / Difusor / Altura siega	673	168	11,93 €	75,56 €	16,16 €	103,65 €
Classic / Difusor / Fraccionar riegos	800	42	11,93 €	75,56 €	19,19 €	106,68 €
Classic / Difusor / Micorriza	673	168	12,38 €	75,56 €	16,16 €	104,10 €
Classic / Difusor	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
Classic / Difusor	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
Classic / Difusor / Lluvia	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
Cotoneaster / Difusor	301	541	13,50 €	21,51 €	7,21 €	42,23 €
Classic / Difusor / Humedad	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
Vinca / Difusor / Lluvia	541	301	16,59 €	16,57 €	12,99 €	46,15 €
Classic / Difusor	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
Classic / Difusor	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
Classic / Difusor	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
Classic / Difusor	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
Petunia / Difusor	661	180	32,91 €	257,56 €	15,87 €	306,34 €
Classic / Difusor	842	0	11,93 €	75,56 €	20,20 €	107,69 €
Tagete / Difusor / Fraccionar riegos	628	213	34,16 €	270,06 €	15,08 €	319,30 €
Tagete / Difusor	661	180	34,16 €	270,06 €	15,87 €	320,09 €
Vinca / Difusor	541	301	16,59 €	16,57 €	12,99 €	46,15 €
Cotoneaster / Goteo	251	591	8,78 €	16,80 €	6,01 €	31,59 €
Fotínea / Goteo / Hidromretenedores	321	521	9,90 €	18,56 €	7,70 €	36,15 €
Aligustre / Goteo / Pino	451	391	43,43 €	27,91 €	10,82 €	82,16 €
Petunia / Goteo	551	291	28,19 €	252,84 €	13,23 €	294,26 €
Fotínea / Goteo	401	441	8,48 €	18,56 €	9,62 €	36,65 €
Árbol / Hidrante / Corteza pino	356	486	4,99 €	1,37 €	8,54 €	14,90 €
Hipérico / Difusor	361	481	13,70 €	20,83 €	8,66 €	43,19 €
Tagete / Difusor	661	180	34,16 €	270,06 €	15,87 €	320,09 €
Sahara / Difusor	782	60	11,96 €	75,56 €	18,76 €	106,28 €
Vinca / Difusor	541	301	16,59 €	16,57 €	12,99 €	46,15 €
Fotínea / Goteo / Micorriza	321	521	8,93 €	18,56 €	7,70 €	35,18 €
Aligustre / Goteo	601	240	40,48 €	24,96 €	14,43 €	79,86 €
Fotínea / Goteo	401	441	8,48 €	18,56 €	9,62 €	36,65 €
Aligustre / Goteo enterrado	570	272	44,38 €	28,86 €	13,67 €	86,92 €

Tabla 3: Eficiencia, volumen ahorrado y costes de los sistemas de riego. Eficiencia en el uso del agua, Canal de Isabel II

El capítulo más interesante del estudio desde la perspectiva de analizar los beneficios y las ventajas de los sistemas de riego inteligente es, precisamente, el estudio de los dispositivos de automatización y control del riego. En ese capítulo, el primer elemento analizado es el interruptor de riego por lluvia, que emplearon en su parque de pruebas durante 10 años. Este dispositivo permite establecer un volumen de precipitación a partir del cual se interrumpe el riego.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

El estudio se realizaba en las siguientes condiciones:

- Vegetación con necesidad de riego medio de 2 l/m² y día (en verano 2,5 l/m², el resto del año 1,8 l/m²).
- Espacio de 1.000 m² ubicado en Madrid.
- Equipo calibrado para interrumpir el riego con precipitaciones de 2,5 l/m² y día de precipitación.
- Precio del sistema: 200 €, vida útil 10 años (coste de mano de obra aparte).

En ese contexto, y sabiendo que en Madrid se dan, de media, 26 días anuales de lluvias por encima de los 2,5 l/m², se sacaron estas conclusiones:

- Ahorro de 52 m³ anuales de agua.
- Con el coste actual del agua en Madrid, esa reducción en el consumo implica un ahorro promedio de 108 € anuales.

De esta forma, el uso de el interruptor por lluvia podría traducirse en una inversión inicial de 200 € más el coste de la instalación, y un ahorro de 108 € y 52 m³ anuales de agua durante 10 años.

Sistema de control de riego por humedad del suelo

El segundo elemento de control automático del riego que se estudió fue el interruptor del riego basado en la humedad del suelo. Este sistema funciona mediante un sensor que se entierra a una profundidad de 20 cm y se calibra para que, ante un cierto nivel de humedad, interrumpa el riego. Una ventaja clara de este sistema respecto al interruptor de lluvia es que permite distinguir niveles de humedad diferentes para distintas plantas y árboles en un mismo lugar, por lo que ofrece un control más detallado y personalizado.

En este ensayo se trabajó en las siguientes condiciones:

- Vegetación con necesidad de riego medio de 2 l/m² y día (en verano 2,5 l/m², el resto del año 1,8 l/m²).
- Espacio de 1.000 m² ubicado en Madrid.
- Equipo calibrado para interrumpir el riego ante una determinada humedad del suelo.
- Precio del sistema: 450 €, vida útil 10 años (coste de mano de obra aparte).

Partiendo de ese contexto se dieron los siguientes resultados:

- Se interrumpió el riego en un 12% de los días.
- Se ahorraron 84 m³ de agua.
- Con el coste actual del agua en Madrid, esa reducción en el consumo implica un ahorro promedio de 175 € anuales.

De esta forma, el uso de el interruptor por humedad del suelo podría traducirse en una inversión inicial de 450 € más el coste de instalación, y un ahorro de 175 € y 108 m³ anuales de agua durante 10 años;

3.1.2 Programa Irrimanlife. Sistema Model Green

Para continuar con la investigación sobre los beneficios generados por los sistemas de riego inteligente se buscaron estudios más recientes, en los que se podía comprobar que el ahorro generado por estos sistemas es aún mayor. Entre dichos estudios se ha analizado el programa Irrimanlife, desarrollado en España por la Unión Europea como parte del Programa Life+, que acoge todas las iniciativas medioambientales y relacionadas con el cambio climático. Este programa se inició en 2017 en colaboración con las Universidad Politécnica de Cartagena, que actúa como coordinadora del proyecto, el Centro de Edafología y Biología Aplicada (CBAS-CSIC), la Consejería de Agricultura de la Región de Murcia, la Universidad de Córdoba, y la Federación de Comunidades Regantes del Mediterráneo (Fenacore).

Todo el sistema de riego inteligente empleado en este proyecto es obra de Model Green, una empresa muy potente del sector que se dedica al desarrollo de distintos tipos de herramientas y plataformas y su venta a otras compañías. Se trata de un proyecto muy ambicioso con desarrollos tanto en materia de sensorización y riego inteligente como de potenciación del uso de aguas regeneradas para el riego, la elección de cultivos más adecuados al clima de las regiones con el fin de reducir la necesidad de riego y abono, ajustes para la reducción de la escorrentía y la lixiviación y varias medidas más; aunque en este estudio se analizará exclusivamente sus desarrollos en materia de riego inteligente.

Este sistema de Model Green ha puesto en práctica las siguientes herramientas de riego inteligente:

- Sistema de interrupción del riego por humedad, con una tasa de activación un 10% menor a la establecida anteriormente (es la corriente que se conoce como riego deficitario).
- Sistema de medición de la concentración de nutrientes e iones presentes en el suelo.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- Sistema con activación remota para el suministro de abono y fertilizantes; se puede activar identificar valores insuficientes en las mediciones de nutrientes e iones.
- Uso de placas solares para alimentar las bombas, electroválvulas y demás elementos del sistema de riego.

De entre todas estas herramientas, el sistema de medición de nutrientes e iones constituye la principal innovación desarrollada por Model Green, pues supone acceder a un nivel más profundo de información. A continuación, se presenta una captura de la propia web de Model Green con la lista de nutrientes e iones que miden.

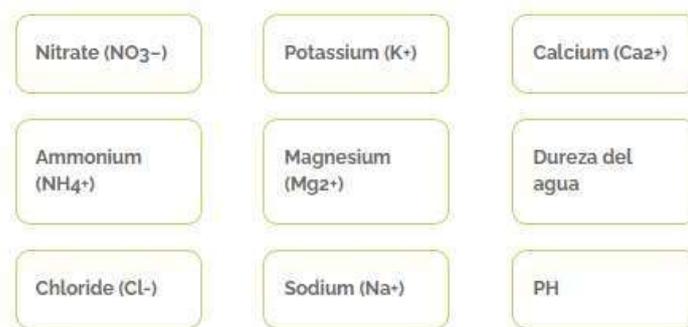


Imagen 17: Iones y nutrientes que Model Green mide en los cultivos y jardines. Fuente: Model Green

En diciembre de 2018, veinte meses después de la implementación de las primeras medidas, se pudieron comprobar los siguientes resultados:

- Ahorro de un 30% de agua.
- Reducción de un 30% del consumo de energía, lo que supone 720 kWh / hectárea al año.
- Disminución de la fertilización química en un 30%, reduciendo la contaminación de las aguas.
- Reducción de las emisiones de CO₂ asociadas en un 40%

El proyecto Irrimanlife continúa en marcha en la actualidad, y se siguen desarrollando distintos sistemas y herramientas para mejorar esos resultados, pero en cualquier caso ya se ha convertido en una referencia que se está imitando en muchos otros espacios de Europa; pues ha demostrado unos niveles de ahorro y de reducción del impacto medioambiental espectaculares.

3.1.3 Smart Biosystem

El Smart Biosystem es un sistema de riego inteligente desarrollado por la Universidad de Cádiz que ha alcanzado un gran reconocimiento por ser la elección de la empresa Paisajismo Urbano para incorporar a sus jardines verticales. Es un sistema que tiene ya uso tanto en el ámbito agrícola como en jardines y parques urbanos y se define por estas características:

- Software libre: permite a los usuarios acceder al código, copiarlo y proponer modificaciones.
- Hardware propio: dispositivos basados en fuentes abiertas con componentes robustos que buscan eliminar la necesidad de realizar un mantenimiento y renunciar a la obsolescencia programada.
- Diseño modular: ofrece facilidad para escalar los sistemas a voluntad del usuario y así adaptarse a cada instalación.

En la siguiente imagen se muestra la Placa Multifunción que han desarrollado e integra la lectura de los sensores, un módulo de comunicaciones y el control de periféricos como relés o electroválvulas.

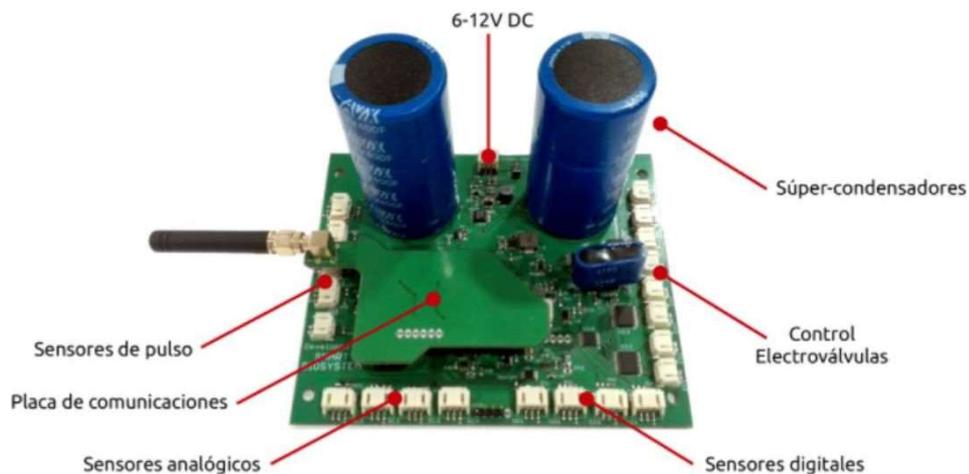


Imagen 18: Placa Multifunción del sistema Smart Biosystem

El sistema de riego se sustenta en varios elementos:

- Sensor de humedad enterrado en el suelo, en la zona de actividad radicular (de las raíces de las plantas).
- Sensor de temperatura enterrado en el suelo, pues se ha identificado que es un factor crucial para garantizar la salud de las raíces.
- Estación meteorológica que proporciona la información necesaria para calcular las pérdidas de agua causadas por las condiciones climatológicas.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- Caudalímetro para cuantificar el volumen de agua empleada en cada ciclo de riego e identificar posibles averías mediante la medición de la presión, como roturas de electroválvulas.
- Programador de riego sofisticado que no sólo funciona como una puerta lógica (abierto 1, cerrado 0) sino que permite regular el tiempo de riego en función de los niveles de humedad y temperatura.
- Plataforma de gestión con acceso vía app a todos los datos.

Con este sistema han llegado a registrar ahorros de agua del 30% en agricultura y del 60% en jardines urbanos, lo que supone unos resultados que no se han encontrado en ningún otro sistema analizado.

A través del estudio de estos sistemas de riego inteligente se han podido alcanzar las siguientes conclusiones:

- Proporcionan un ahorro de agua y energía muy importante.
- Los precios de estos sistemas son competitivos, por lo que su instalación es una inversión interesante.
- Suponen una contribución muy importante para la reducción de emisiones y de impacto medioambiental en general.
- El gran desafío actual de estos sistemas es lograr un mayor grado de automatización, que parece será posible mediante la implantación de la inteligencia artificial.

3.2 Sistema QR para el control de la vegetación

A partir del análisis de Model Green, que como se explicaba en su apartado comercializan para otras empresas, se descubrió una compañía de viveros y venta de plantas que ha desarrollado una serie de sistemas para establecer una trazabilidad de las plantas que vende. Esta empresa se llama Agromillora, tiene más de 600.000 m² de invernaderos repartidos en 25 países y han desarrollado un método de identificación e inventariado de árboles mediante códigos QR que les permiten elaborar informes de trazabilidad de las plantas, registrar toda tarea de mantenimiento que se haya realizado sobre ellas, mantener un control y seguimiento de posibles problemas o enfermedades que sufran, etc.

Desde el momento en que se encontró este sistema, se consideró una herramienta muy interesante para incorporar al trabajo, pues supone una gran contribución al objetivo de desarrollar un sistema autogestionable y con el mayor grado posible de acceso a datos, automatización e incluso inteligencia artificial. Además, es un gran recurso para establecer un sistema de mejora continua que permitiese identificar el comportamiento de las especies ante distintos métodos de riego, diferentes tipos de abono y fertilización, uso de plaguicidas, etc.

De cara a la implementación de esta tecnología se ha podido comprobar que el uso de este sistema corresponde a una serie de productos de la compañía (llamados Micrograft) que venden a otros viveros; por lo que no debería haber el más mínimo problema en encontrar una colaboración con ellos. Esta serie Micrograft comprende especies como las nectarinas, el melocotón, los paraguayos, el albaricoque, la cereza, la ciruela y el almendro; no obstante, dado el tamaño de la compañía y los volúmenes de plantas que se pueden mover con los jardines verticales y las cubiertas verdes, parece probable que se les pudiese solicitar el mismo servicio para utilizarlo en otras especies de árboles o arbustos.

Centrándonos en el uso que se le daría a esta tecnología en este proyecto, se han podido identificar las siguientes funciones:

- Trazabilidad desde el origen de las plantas y árboles utilizados, lo que permitiría calcular de forma más precisa la huella de carbono total de cada instalación y compararla según los proveedores utilizados.
- Seguimiento no sólo del riego y las posibles averías o fallos que éste sufra; sino de las operaciones de mantenimiento que se realicen sobre las plantas, y sus plagas y enfermedades.
- Registro de la evolución y perdurabilidad de las distintas especies para llevar a cabo un estudio e identificar las especies más adecuadas según las condiciones climáticas; así como su comportamiento ante distintos niveles de riego y/o uso de abono y fertilizantes.

Se espera recibir un presupuesto por parte de Agromillora para disponer de plantas, de sus propios invernaderos, equipadas con la tecnología QR. El siguiente paso sería proponer una colaboración con una tarifa fija, por así decirlo, de manera que se pudiese incorporar este recurso tanto a las plantas proporcionadas por Agromillora, como a aquellas que no comercialice la propia empresa y se vayan a adquirir por otra vía.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado



Imagen 19: Ejemplo del uso de códigos para trazabilidad de plantas. Fuente: Agromillora

3.3 Sistema PlantNet de reconocimiento de plantas

Se trata de una herramienta desarrollada por plantnet-project.org, una asociación franco-española que apuesta por el desarrollo informático y tecnológica ligado a la vegetación; y fue presentada en España en 2020, a través de la Fundación Agrópolis del Ayuntamiento de Córdoba, que también ha contribuido en gran medida a su financiación. El aspecto diferenciador de este sistema, que cuenta con una app gratuita en Google Play, es que permite identificar plantas a través de una simple fotografía; para ello, se apoya en su enorme base de datos que está conformada por la información proporcionada por institutos de investigación de la naturaleza como CIRAD (Centre Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), INRA (Instituto Nacional de Reforma Agraria), INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique), IRD (Institut de Recherche pour le Développement) y la red Tela Botánica.

Con el uso de este sistema, que no supondría ningún gasto económico al poder utilizarse mediante la aplicación gratuita, se podrían desarrollar actividades de tipo educativo y formativo en aquellos jardines que sean accesibles al público. De manera que se potenciase el componente social de estos jardines y se pudiesen aprovechar en mayor medida. Por parte de la empresa sólo sería necesario disponer de carteles informativos en las cubiertas y jardines en que pudiese utilizarse para recomendar que se descargue.

Capítulo 4: Sistemas para el aprovechamiento de aguas pluviales

Se ha decidido integrar en el diseño de la cubierta y los verticales verdes una instalación para el aprovechamiento de aguas pluviales, pues se ha comprobado que es un sistema perfectamente adaptable a la infraestructura verde y que supone una gran aportación de cara al impacto económico y, en especial, medioambiental de las instalaciones, debido al ahorro en agua que se puede obtener. Para ofrecer una primera estimación de dicho ahorro se muestran, a continuación, los datos anuales de lluvias y gasto en riego de la última década:

- Precipitación media en la península: 636 l/m².
- Necesidad de riego de jardines estándar: 840 l/m².

Evidentemente, la vegetación necesita de un aporte de riego estable durante el tiempo, por lo que las lluvias torrenciales no suponen una contribución positiva; y ahí radica la utilidad de integrar sistemas con los que recoger, almacenar y posteriormente utilizar el agua de lluvia para el riego. De esta forma, aunque se aprovechara exclusivamente el 30% del agua de lluvia, se podría reducir el uso de agua para riego de una manera muy significativa, lo que tendría un impacto muy positivo tanto económico como medioambiental.

Tomando como referencia una cubierta de 500 m² en Madrid, supondría un ahorro de 95 m³ anuales. Y si se optimiza el proceso de recogida, llegando a los niveles a que se comprometen las empresas dedicadas a la captación de aguas pluviales (0,5 en el caso de las cubiertas ajardinadas), se podrían obtener hasta 159 m³ anuales.

Así, para comenzar con este capítulo, se recoge la Guía técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios, que se empleará como referencia para el diseño del sistema en cuestión.

4.1 Guía Técnica para el Aprovechamiento de aguas pluviales. Resumen

Las aguas de lluvia pueden ser empleadas para diversas aplicaciones, siendo las más habituales en el interior de los edificios:

- Cisternas de inodoros.
- Lavado de los suelos.
- Lavadora (en el uso del agua pluvial para lavadoras, se aconseja un tratamiento complementario, según las especificaciones del fabricante).

En el exterior de los edificios sus principales usos son:

- Riego de zonas ajardinadas.
- Lavado de los suelos
- Lavado de vehículos

En el caso de riego por aspersión de las zonas verdes accesibles al público, éste debe ser realizado fuera de los periodos de afluencia pública u otras medidas para evitar el riesgo de legionelosis.

El agua pluvial debe respetar las normativas de calidad de las aguas de baño en los términos de la legislación nacional y de las directivas europeas aplicables. Asimismo, y por aplicación del principio de prevención, se excluye su uso en casos particulares como los centros médicos, sociales y de alojamiento de personas mayores y los de enseñanza infantil y primaria.

Superficies de captación

Se considerarán superficies de captación aquellas que, salvo operaciones de mantenimiento, no sean transitables. Desde un punto de vista cuantitativo se pueden usar todas las superficies de recogida disponibles que sean adecuadas cualitativamente. El diseño de las pendientes de las cubiertas y los sistemas de drenaje, así como los sumideros, se deberá realizar de acuerdo con el código técnico de la edificación vigente.

Composición	Coefficiente
Tejado duro inclinado*	0,8
Tejado plano sin gravilla	0,8
Tejado plano con gravilla	0,6
Tejado verde intensivo	0,3
Tejado verde extensivo	0,5
Superficie empedrada	0,5
Revestimiento asfáltico	0,8
* desviaciones en función de la capacidad de absorción y la rugosidad	

Tabla 4: Coeficiente de captación de las distintas superficies. Fuente: Guía Técnica para el Aprovechamiento de aguas pluviales

Sistema de descarte de las primeras aguas (first flush)

Es importante descartar las primeras aguas después de un periodo prolongado sin lluvia, debido a la abundante suciedad que podrían arrastrar al depósito.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Tipos de filtros

Se puede distinguir tres tipos de filtros en función de su ubicación:

- Tipo U1. Filtros para la instalación en bajantes.
- Tipo U2. Filtros para la instalación en depósitos.
- Tipo U3. Filtros para la instalación individual (en arquetas, enterradas o en superficie).

Con respecto al principio de funcionamiento existen dos tipos básicos:

- Tipo F1. Filtros con expulsión de la suciedad “autolimpiantes”.
- Tipo F2. Filtros con acumulación de la suciedad.

Los filtros disponibles en el mercado tienen un grado de filtración habitual entre 0,5 y 3 mm. En función del uso del agua previsto y el filtro de entrada elegido puede ser necesaria la instalación de filtros más finos en la correspondiente línea de suministro. Es recomendable, combinar distintos tipos de filtros (en su localización y en el tamaño de la luz de paso) para conseguir unos gradientes de filtración que permitan aumentar el aprovechamiento y disminuir los sólidos en suspensión del agua captada.

Dimensionado y capacidad de los filtros

Los filtros deben ser dimensionados en función del caudal de agua que puede pasar por ellos. Como orientación se pueden utilizar las informaciones de los fabricantes que en muchos casos asignan una máxima superficie de recogida a sus filtros (por ejemplo, hasta 150 m²). De todas formas y en ningún caso el filtro debe reducir el corte seccional de la tubería final de aguas pluviales antes del filtro.

Especialmente, en instalaciones de tipo U2 y U3 será recomendable consultar a un profesional especializado en sistemas de aguas pluviales para el correcto dimensionado del filtro.

Tipo	Eficiencia	Grado fil mm	Mantenimiento	Capacidad	Coste
U1/F2 Tipo bajante	80%-90%	0,7-1,7	Bajo	Baja	Bajo
U2/U3/F2 Tipo cesta	99%	0,4-1	Alto/media	Media/alta	Medio
U2/U3/F1 Tipo autolimpiantes	90%-95%	0,35-2,0	Bajo	Medio	Alto

Tabla 5: Características de los distintos tipos de bajantes. Fuente: Guía Técnica para el Aprovechamiento de aguas pluviales

Criterios básicos del depósito de recogida

1. El agua debe almacenarse en el depósito, previamente filtrada y limpia de toda suciedad. El depósito debe ser exclusivamente para ese uso, en un sistema de reaprovechamiento de agua de lluvia, y su material no debe alterar en ningún caso la calidad del agua almacenada.
2. Para la mejor conservación del agua es recomendable proteger al depósito de la luz ultravioleta y del calor. Estos cuidados deben extremarse en los depósitos en superficie al exterior. La solución más recomendable en la mayoría de las ocasiones son los depósitos enterrados.
3. Es imprescindible mantener un registro o arqueta de entrada al depósito, para permitir su inspección, limpieza y mantenimiento, así como asegurar la prevención de su acceso a personal no autorizado.
4. Los componentes instalados dentro del depósito deben ser fácilmente desmontables en caso de averías.

Instalación

El depósito debe tener un rebosadero de un diámetro igual o superior al diámetro de la tubería de entrada de agua y debe estar situada en una cota inferior a la misma.

En caso de tener que instalar un sistema de entrada de agua de la red en el depósito debe cumplirse la Norma UNE-EN 1717 (“Protección contra la contaminación del agua potable en las instalaciones de aguas y requisitos generales de los dispositivos para evitar la contaminación por refluo”). Se recomienda que el sistema garantice el mínimo consumo de agua de red posible.

Para mantener la calidad del agua dentro del depósito son necesarios los siguientes componentes:

- Uno o varios filtros adecuados según la necesidad.
- Deflector o entrada anti-turbulencia de agua. El agua debe entrar desde la parte inferior del depósito y en sentido ascendente, para evitar remover los sedimentos que pudiera contener.
- Se recomienda instalar un sifón de protección en la salida de agua, para evitar la posible contaminación de esta por insectos u otros pequeños animales que pudieran mermar la calidad del agua.
- Para extraer agua del depósito se necesita un dispositivo de succión flotante conectado a la bomba de impulsión.

Equipamientos opcionales dependiendo del tipo de instalación:

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- Soporte para bombas sumergidas.
- Sistema de conmutación entrada de agua de red, en el momento en que el agua acumulada en el depósito sea insuficiente.
- Sistema de descarte de las primeras aguas entre dos largos episodios de lluvia, para eliminar que la suciedad acumulada sea vertida al depósito.
- Indicador del nivel de agua dentro del depósito.
- Sistema de desinfección.
- Sistema antirretorno de aguas ajenas a las pluviales al depósito, como las residuales y freáticas.

Dimensionado del depósito

El volumen del depósito depende de dos factores: demanda y oferta. Además, deberá tenerse muy en cuenta el periodo máximo entre lluvias.

- Demanda generada por el sistema (aparatos conectados al agua de lluvia del edificio).

$$D = D_{WC} + D_{RJ} + D_{LV} + D_L$$

Engloba las necesidades de consumo de agua no potable, correspondiendo cada término a:

- D_{WC} : demanda de agua del retrete.
 - D_{RJ} : demanda de agua para riego del jardín.
 - D_{LV} : demanda de agua de la lavadora.
 - D_L : demanda de agua para lavado de superficies.
- Oferta de agua pluvial generada por la superficie de captación y la precipitación local donde se sitúa la instalación. Se calcula mediante la capacidad de captación de aguas pluviales

$$O = S * C_{SC} * P$$

Siendo:

- S : superficie de recogida de agua.
- C_{SC} : coeficiente de la superficie de captación.
- P : pluviometría anual (L/m²/año).

Dimensionado del depósito

En primer lugar, se estudia la viabilidad del sistema:

- Si $D > O$ tomaremos la demanda D como base de cálculo.
- Si $D < O$ descartaremos alguno de los usos de agua no potable, ya que la limitación viene marcada por la captación.

Una vez establecida la demanda D que se utilizará como referencia se diseña el depósito:

$$V_{\text{Depósito}} = \frac{D}{365 \text{ días}} * F_D * P$$

Siendo:

- D : Demanda, necesidad de agua diaria.
- F_D : Factor de dimensionado, aumento del 15-20% debido a la formación de sedimentos que reducen el volumen útil.
- P : Periodo de retorno, periodo máximo entre 2 episodios de lluvia significativos (como máximo 40 días).

Tipo de Instalaciones de distribución

- Por gravedad. Cuando el depósito se encuentra a un nivel superior al de los puntos de suministro.
- En carga con grupo de presión. Aquellas cuyo depósito se encuentra a un nivel igual o superior al del sistema de captación o recogida.
- En aspiración con grupo de presión de superficie. Aquellas cuyo depósito se encuentra a un nivel inferior al de los puntos de suministro. Es la más común de las instalaciones de aprovechamiento de agua pluvial. En este caso se requiere la instalación de un equipo de bombeo auto-aspirante. Se recomienda, no obstante incorporar una válvula de pie si el dispositivo de aspiración no la contempla.

Una variante es la aspiración con electrobomba sumergible. También puede instalarse, en estos casos, una bomba sumergible dentro del depósito de almacenamiento de agua de lluvia para impulsar directamente a los puntos de suministro o como bomba de transferencia a una central de distribución.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Para alargar la vida útil del sistema y tener un funcionamiento más cómodo y adecuado se dan una serie de recomendaciones:

- Utilizar materiales constructivos que no se deterioren por el contacto con el agua pluvial y que sean resistentes a la corrosión.
- Utilizar equipos que cumplan con las especificaciones vigentes del Código Técnico de la Edificación (HS - Sección HS4 Suministro de agua en edificios de viviendas, R. D. 314/2006) en cuanto a condiciones mínimas de consumo.
- Para el control de ruido de estos equipos, es de aplicación el documento básico DB HR Protección frente al ruido del mismo CTE.

Componentes de la red de distribución

- Sistema de bombeo. Debe realizarse la correcta selección del equipo de impulsión con arreglo a las especificaciones de la obra siguiendo el criterio de máxima eficiencia y mínimo consumo. Podemos mencionar bombas sumergibles, grupos de presión y pozos de bombeo prefabricado entre otros. Estos equipos contarán con una válvula anti-retorno.
- Sistema de conmutación. Mecanismo manual o automático que deberá asegurar la correcta conmutación entre las dos redes de agua, cuando el nivel de agua pluvial en el depósito no sea suficiente para garantizar el suministro en los puntos de entrega. Debe cumplir con las separaciones mencionadas en “Distribución en aspiración”, e incorporar un sistema de rebosadero, de acuerdo con la misma norma.
- Sistema de conducción hasta los suministros. Debe ser específica para agua de lluvia. Con el fin de separar la red de agua potable de otras redes no potables deben instalarse dispositivos de separación física que debe cumplir la norma UNE-EN 1717:2001 Protección contra la contaminación del agua potable en las instalaciones de aguas y requisitos generales de los dispositivos para evitar la contaminación por refluo o sus posibles equivalentes posteriores.

Instalación

Existen dos aspectos de especial importancia en la instalación:

- Capacidad de entrada de agua al sistema: en el diseño del sistema de aprovechamiento de agua de lluvia debe tenerse en cuenta que en ningún punto se reduzca la sección de tubería y en consecuencia se permita siempre la libre evacuación del caudal punta, según las disposiciones del CTE.

- Independencia del sistema: los elementos de captación, filtración, almacenamiento, impulsión, conducción, evacuación y entrega de aguas pluviales deben ser independientes del sistema de agua potable evitando riesgo de conexiones cruzadas. El sistema debe ser autosuficiente en cuanto a su evacuación (drenaje) incluso en casos de corte de fluido eléctrico.

Señalización

- Señalización centralizada: en la acometida de agua potable del edificio o, a ser posible cerca del contador, debe señalizarse claramente:



Imagen 20: Cartel de señalización. Fuente: *Guía Técnica para el Aprovechamiento de aguas pluviales*

- Señalización localizada: los lugares de captación, filtración, almacenamiento, impulsión, conducción, evacuación y uso de aguas pluviales deben estar convenientemente señalizados para que puedan ser identificados como tales de forma fácil e inequívoca (punto 2.2 de la sección HS4 del Código Técnico de la Edificación).

La señalización puede realizarse mediante etiquetas o cualquier medio permanente con un texto y un icono, que así señalice que son elementos que contienen aguas pluviales y no de consumo, según las disposiciones vigentes.

Tuberías y canalizaciones

Las tuberías y elementos de conexión asociados (entrada, rebose y vaciado), deben cumplir con las normativas vigentes, poniendo especial atención a los siguientes puntos:

- Los sistemas de ventilación y purga de las cisternas deben ser colocados de forma que el agua superficial, hojas, basura y pequeños animales no puedan acceder a su interior.
- Las tuberías de rebose de las canales y las tuberías de desagüe deben equiparse con sifones para evitar entrada de gases de las alcantarillas y pequeños animales. Si el sistema de rebose se conecta a un sistema de infiltración situado por encima del suelo, debe colocarse un sistema anti-retorno para evitar la entrada de suciedad, así como de pequeños animales. En ningún caso estos elementos deben disminuir el caudal inicial de flujo diseñado.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- Los rebosaderos deben colocarse de forma que recojan la capa flotante del agua del depósito. En caso de utilizarse varios depósitos conectados en serie, se debe colocar un rebosadero en el depósito inicial.
- La tubería de salida de agua del depósito debe colocarse de forma que no aspire los sedimentos de este, recomendándose un sistema de toma flotante. Esta tubería debe protegerse en su recorrido hasta el edificio de posibles heladas y de materiales adecuados para soportar el vacío por succión.
- Las tuberías de aguas pluviales, en el caso de transcurrir en paralelo con las de agua caliente sanitaria, deben estar completamente aisladas del calor de estas.

Infiltración de aguas de rebose

Si las condiciones del suelo lo permiten, se aconseja realizar una infiltración del agua pluvial sobrante del depósito mediante un sistema de drenaje (bloques o túneles de drenaje, pozo de grava, zanja filtrante, etc.) directamente al subsuelo.

En el caso de hacer un pozo de grava se debe disponer de los elementos necesarios para evitar el posible refluo de aguas del subsuelo.

Mantenimiento y Control del Sistema

Los puntos clave a revisar periódicamente son los siguientes:

- Captación. Revisión de cubiertas, canaletas y bajantes para comprobar su estado de conservación y para evitar posibles obturaciones y suciedad.
- Equipo de descarte de las primeras aguas, en el caso de que se disponga. Revisión periódica del estado de conservación y limpieza.
- Filtración. Revisar y limpiar periódicamente el sistema de filtración.
- Almacenamiento. Revisión del depósito y sus equipos (en especial rebosadero y válvula de pie) para verificar las necesidades de limpieza y el estado de conservación.
- Sistema de distribución. Es especialmente importante hacer el correcto mantenimiento del sistema de bombeo, atendiendo a las recomendaciones del fabricante.
- Sistema automático de desinfección, en el caso de que se disponga. Se debe comprobar periódicamente su correcto funcionamiento.

	ACCIÓN	PERIODICIDAD
Canaletas y bajantes:	Inspección / limpieza	Semestral / anual
Descarte de las primeras aguas (opcional)	Inspección / limpieza	Semestral / anual
Filtración	Inspección / limpieza	Mensual
Almacenamiento	Inspección / limpieza e higienización	Anual
Sistema de distribución (bombeo)	Inspección / mantenimiento	Semestral / anual
Sistema de distribución (conducción y puntos de uso)	Inspección / control señalización	Semestral / anual
Sistema de desinfección (opcional)	Inspección / mantenimiento	Mensual / anual
Accesorios	Inspección	Anual

Tabla 6: Tipo y periodicidad de mantenimiento en cada elemento. Fuente: Guía Técnica para el Aprovechamiento de aguas pluviales

4.2 Diseño del sistema de recuperación de Aguas pluviales



Imagen 21: Esquema de instalación estándar para la recuperación de aguas pluviales. Fuente: Guía Técnica para el Aprovechamiento de aguas pluviales

4.2.1 Sistemas de recogida de agua en Cubiertas verdes

Sistema regulador de cargas pluviales RS 60 de Zinco

Se han comparado múltiples soluciones ya existentes en el mercado para la recogida de aguas pluviales, llegando a la conclusión de que se deben incorporar diversos sistemas. Se opta por esta opción para poder ofrecer distintas soluciones en función de la capacidad de carga de la cubierta, y de la necesidad de almacenaje de agua de acuerdo con las precipitaciones medias en la región donde vaya a llevarse a cabo la instalación.

La primera opción que se incorpora al catálogo de cubiertas es el sistema de “Cubierta reguladora de aguas pluviales RS 60 de Zinco”, que se ha concluido es el más adecuado para edificios con gran capacidad de carga y regiones con periodos frecuentes de sequías y otros en los que se den lluvias torrenciales. Esta solución está ya diseñada, en origen, para su uso en cubiertas verdes y la empresa en cuestión tiene mucha experiencia en el diseño e instalación de este tipo de estructuras; por lo que ante cualquier dificultad o problema que surja tendrán recursos para ofrecer alternativas y variantes. Además, ofrecen no sólo el producto en sí sino servicios de instalación, mantenimiento y las garantías correspondientes.



Imagen 22: Sistema regulador de cargas pluviales RS 60 de Zinco. Fuente: Zinco

Con el sistema regulador de cargas pluviales RS 60 de Zinco se pueden captar hasta 85 l/m² de agua de lluvia almacenándola para el riego de la cubierta en etapas de sequía y, ante lluvias torrenciales, pudiendo liberarla al sistema de alcantarillado o, en nuestro caso, al depósito de agua no potable, durante un período configurable por el usuario entre 24 horas y unos pocos días. El almacenamiento del agua de lluvia se produce dentro de unos módulos reticulados – los reguladores de cargas pluviales – situados bajo el sistema de la cubierta verde. Mientras tanto, las condiciones que son de vital importancia para el buen funcionamiento de la cubierta verde (almacenamiento de agua para las plantas, el equilibrio agua/aire en la zona de las raíces, etc.) no sufren ninguna modificación ni perjuicio, con lo que siguen funcionando del mismo modo.

Una de las grandes ventajas es que el funcionamiento de acumulación y liberación progresiva reduce en gran medida las posibilidades de desbordes, dando tiempo a la gestión de las aguas ante lluvias torrenciales, con lo que se consigue reducir enormemente la cantidad de agua desechada.

La única exigencia o limitación que plantea el uso de este sistema es que las cargas estructurales de la cubierta bajo la que se colocan sean admisibles; no obstante, están diseñadas para poder soportar no sólo cubiertas verdes sino también cubiertas transitables por personas e incluso vehículos, por lo que presentan una resistencia que será más que suficiente para el uso que se le quiere dar en este diseño.

En la siguiente imagen se puede ver la explicación que ofrece la propia Zinco respecto al funcionamiento de descarga de estos módulos, clave para evitar problemas posteriores y reutilizar el agua recogida.



Imagen 23: Explicación del sistema de descarga de Zinco. Fuente: Zinco

A continuación, se muestran las principales características técnicas de la Cubierta reguladora de aguas pluviales Zinco la solución escogida para la captación de aguas:

- Material: polipropileno regenerado (PP), químicamente inerte y no libera sustancias al medio ambiente ni en el agua almacenada.
- Puede sufrir exposición prolongada a los rayos UV.
- Dimensiones: 50 x 50 x 17 cm.
- Resistencia a la compresión: 6 Tn/m².
- Módulo elástico de flexión: 1250 MPa.
- Volumen de captación de agua: 85 l/m².
- Peso saturado de agua y con jardín estándar: 185 kg/m²

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Por todas las características anteriormente mencionadas, el sistema regulador de cargas pluviales RS 60 de Zinco constituye la opción más recomendable para cubiertas intensivas ubicadas en edificios modernos con gran capacidad de carga, y en los que se disponga de presupuestos elevados.

Sistema Drainroof de Geoplast

La segunda solución que se ha analizado y se ha decidido incorporar al catálogo de posibilidades para la acumulación de aguas pluviales es el sistema Drainroof desarrollado por Geoplast. Este sistema en concreto es muy interesante para utilizar en edificios antiguos o que admitan cargas pequeñas en las cubiertas, pues su peso es muy inferior, aunque también presenta una capacidad menor de acumulación de agua.



Imagen 24: Sistema Drainroof de Geoplast. Fuente: Geoplast

Esta empresa comercializa 2 sistemas de idéntico funcionamiento, pero con distintos tamaños, por lo que trabajar con ellos ofrece una gran flexibilidad. A continuación, se muestran las características más destacadas de la primera de estas soluciones, el Drainroof H6:

- Sistema modular: instalación sencilla
- Pieza única de polipropileno
- Módulos de 50x50 cm, espesor 6cm y 1 kg
- Volumen de captación de agua: 40 l/m²
- Peso saturado de agua y con jardín estándar: 90 kg/m²

El otro producto que ofrecen es el Drainroof H2,5; con idénticas características y funcionalidades a excepción del tamaño y el peso:

- Módulos de 50x50 cm, espesor 2,5 cm y 0,60 Kg.
- Volumen de captación de agua: 16 l/m²
- Peso saturado de agua y con jardín estándar: 60 kg/m²

La instalación del sistema Drainroof de drenaje de aguas pluviales es verdaderamente sencillo gracias a su estructura de módulos y al peso de dichos módulos. Esto hace que, tal y como especifica la propia empresa, pueda llevarla a cabo un único operador. No obstante, resulta necesario contar con elementos de seguridad como arneses y demás medios de prevención de caídas; puesto que el operario se encontrará en una cubierta a gran altura. En su instalación hay tres cuestiones fundamentales:

- Acoplar perfectamente los módulos entre sí, a través de sus lengüetas, para asegurar la recogida de la mayor cantidad posible de agua, así como la estabilidad del suelo ubicado sobre dichos módulos.
- Asegurarse de que todos los módulos estén correctamente dispuestos y orientados para verter el agua sobrante hacia la bajante; de manera que no se produzcan acumulaciones de agua en el tejado ni vertidos hacia otras zonas que provoquen pérdidas de agua.
- Regular correctamente los módulos para que no almacenen más agua de la que se ha calculado es aconsejable dada la capacidad de carga del edificio.

Uno de los aspectos más interesantes de utilizar los productos y servicios de Geoplast es su gran conocimiento y experiencia, que les permite hacer instalaciones en cubiertas con gran inclinación (hasta 20°) y además ofrecen asesoramiento para adecuar el sistema según el tipo de vegetación que vaya a disponerse sobre sus módulos. A modo de resumen presentan el siguiente cuadro en función de estas y otras variables:

Espesor de la capa de cultivo (cm)	Tipo de vegetación adecuado	Mantenimiento (h/m ² /año)	Coeficiente de salida	
			Inclinación <15°	Inclinación >15°
8	Sedum	< 0.02	0.4	0.5
10	Césped perenne pequeño	< 0.02	0.4	0.5
15	Grandes plantas herbáceas perennes, pequeños arbustos de cobertura vegetal	< 0.02	0.4	0.5
20	Superficies de césped	0.021 – 0.06	0.3	> 0.5

Tabla 7: Distinción de los cuidados de las distintas especies. Fuente: Geoplast

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Sédum precultivado de Topgrass

Finalmente, la última solución que se ha analizado para instalar sistemas de captación de aguas pluviales son las baldosas con sédum ya precultivado que comercializa la empresa Topgrass. Dichas baldosas incluyen el sistema propio de recogida de aguas pluviales, con lo que permite cubrir tanto la compra de la vegetación como la solución de captación de aguas con una única empresa; y resultan también adecuadas para edificaciones con poca capacidad de carga.



Imagen 25: Mezcla de sédum precultivado de Topgrass. Fuente: Topgrass

A continuación, se muestran las características más destacadas de este sistema Topgrass:

- Módulos de 54x54 cm, espesor 9 cm.
- Volumen de captación de agua: 35 l/m²
- Peso total (saturado de agua y con el sédum): 60 kg/m²

El que estos módulos incluyan el sédum es un valor muy interesante que puede abaratar considerablemente el precio total de los jardines. No son las especies con mayor capacidad de captación de CO₂, ni de producción de oxígeno; por lo que para proyectos más ambiciosos resultarían preferentes otras opciones. No obstante, ofrece una solución sencilla y barata para proyectos con menor presupuesto y edificios antiguos o con poca capacidad de carga; y permite disponer de jardines cuyo consumo de agua sea prácticamente 0, con lo que se reduzca mucho su impacto ambiental.

Sistema Garoé de Singular Green

Este sistema de cubierta, desarrollado por Singular Green, ya se presentó como una de las soluciones que ya se están empleando en la construcción e instalación de cubiertas verdes. Como se explicó en ese capítulo, utiliza un sistema de almacenamiento de agua mediante un aljibe y está diseñado para sustentar vegetación con necesidades hídricas bajas, como el sédum, las gramíneas, y especies arbustivas o vivaces,

Supone un sistema muy ligero de captación de agua, pues con el aljibe lleno no debe superar la carga total de 50Kg/m². Por lo tanto, este diseño ofrece tres ventajas muy claras:

- El sistema de aprovechamiento de agua va incluido en el propio montaje de la cubierta, por lo que se podrá tener un sistema de montaje profesional por un precio bajo.
- Al incluir vegetación con necesidades hídricas bajas, ofrece la posibilidad de desarrollar cubiertas altamente autogestionables, que funcionen casi en su totalidad con el agua de lluvia y no supongan un consumo elevado de agua.
- El peso total de 50 Kg/m² debe ser asumible por la gran mayoría de edificios que tengan 30 o 40 años de antigüedad, por lo que supone una opción interesante para su uso en estos casos.

4.2.2 Tabla comparativa entre los distintos sistemas

En este apartado se va a recoger las principales características de los sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales que se han estudiado. El objetivo es construir una tabla que permita, de una forma rápida y sencilla, establecer qué tipo de sistema resulta más adecuado en función de los siguientes factores:

- Capacidad de carga del edificio en que vaya a disponerse la cubierta.
- Tipo de vegetación deseada en la cubierta.
- Niveles de precipitación del lugar en que se encuentre.
- Voluntad de inversión económica del cliente.
- Interés del cliente en reducir el consumo de agua.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Sistema	Carga saturada	Volumen	Dimensiones módulos	Vegetación
RS60 Zinco	185 kg/m ²	85 l/m ²	50x50x17 cm	Intensiva: arbustos, árboles
Drainroof H6	90 kg/m ²	40 l/m ²	50x50x6 cm	Sédum, arbustos pequeños
Drainroof H2,5	60 kg/m ²	16 l/m ²	50x50x2,5 cm	Césped perenne, superficies de césped
Sédum Topgrass	60 kg/m ²	35 l/m ²	54x54x9 cm	Sédum exclusivamente
Garoé Singular Green	50 kg/m ²	15 l/m ²	No: aljibe	Sédum, gramíneas, especies vivaces y arbustivas

Tabla 8: Características de los sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales. Elaboración propia

En base a estos datos, se identifican los usos más adecuados para cada sistema:

- RS 60 Zinco:
 - Casi exclusivamente a edificios de nueva construcción.
 - Requiere de inversión económica elevada.
 - Recomendado para cubiertas intensivas con gran necesidad de agua.
 - Gran resultado a nivel medioambiental, permite reducir mucho el consumo de agua.

- Drainroof H6:
 - Edificios de construcción reciente o nueva.
 - Económicamente muy ajustado.
 - Adaptable a distintos niveles de vegetación.
 - Reduce la huella hídrica en menor medida, dependiendo de la vegetación que se incluya

- Drainroof H2,5:
 - Aplicable en muchos edificios.
 - Económicamente muy ajustado.
 - Adaptable a distintos niveles de vegetación,

- Poco efecto sobre el consumo de agua.
- Sédum Topgrass:
 - Aplicable en muchos edificios.
 - Económicamente muy ajustado.
 - La vegetación viene ya dada: sédum.
 - Máxima reducción del consumo de agua: puede funcionar sin riego
- Garoé Singular Green:
 - Aplicable en la gran mayoría de edificios.
 - Económicamente muy ajustado.
 - Vegetación: sédum, gramíneas, especies vivaces y arbustivas.
 - Gran reducción del consumo de agua.

El presente TFM abarca exclusivamente el desarrollo de los jardines verticales y en cubiertas y los beneficios que pueden ofrecer en relación con la mejora de la eficiencia energética, la captación de CO₂, etc. Por ese motivo, los únicos elementos de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia que se han analizado en profundidad son los módulos de captación de agua en las cubiertas. Todo el diseño de las bajantes, los depósitos, los filtros, la canalización interna del edificio, etc. excede las competencias del proyecto en sí. Por ese motivo, no se analizarán en profundidad en este trabajo.

Capítulo 5: Inventariado de árboles y vegetación

En este capítulo se va a recopilar información de especies vegetales y árboles que permita clasificarlos en función de los siguientes factores:

- Captación de CO₂.
- Niveles de producción de oxígeno.
- Capacidad de aislante térmico.
- Adaptación a temperaturas.
- Necesidades hídricas (l/m²).

El motivo para hacer esta clasificación es desarrollar el modelo de negocio con el que se pueda establecer de una forma clara qué tipo de vegetación es la más adecuada para cada proyecto, en función de los factores indicados previamente.

Para realizar esta clasificación se recurrirán a los estudios de biólogos, botánicos e ingenieros agrónomos que ya se han publicado, tratando de aglutinar sus conclusiones; no obstante, se debe tener claro que el comportamiento de la vegetación depende, en cierta medida, de su entorno y contexto. Por lo que el comportamiento y las capacidades de una determinada especie, en una situación concreta, no tienen por qué ser completamente idénticas a las que tendrá en otro lugar con otras características y condicionantes.

Así pues, habiendo explicado las razones para hacer este estudio, se empezará por realizar la primera clasificación mencionada: la captación de CO₂.

5.1 Clasificación según la captación de CO₂

La capacidad de árboles y plantas para captar CO₂, así como otros gases de efecto invernadero o tóxicos para las personas, es uno de los motivos más importantes para apostar por los jardines urbanos y para desarrollar vegetación en los edificios y ciudades. Por esa razón, en este capítulo se va a investigar la capacidad que tienen distintos árboles y plantas para funcionar como sumideros de dióxido de carbono. El objetivo final es establecer un inventario de árboles que recoja su capacidad de captación de CO₂, el coste que tiene su compra y/o mantenimiento; y la relación entre los gramos de CO₂ que captan y el peso del árbol, aspecto fundamental para instalar jardines en cubiertas y fachadas.

El desarrollo y cuidado de la vegetación, en todos los ámbitos y de todas las clases, constituye una de las herramientas que se consideran más útiles para lograr los objetivos del acuerdo de París 2015. De acuerdo con los últimos estudios que se han hecho en materia de cambio climático, las soluciones climáticas naturales, que también incluyen la protección de las zonas que almacenan carbono y un mejor manejo de los suelos y pastizales, podrían representar el 37% de todas las acciones necesarias para 2030. Estas dos medidas, destinadas a hacer que el planeta sea más verde, podrían ser el equivalente a detener toda la quema de petróleo en todo el mundo, según un estudio publicado en la revista estadounidense *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

Explicación de los mecanismos de captura de CO₂

Las plantas tienen la capacidad de captar el CO₂ atmosférico y metabolizarlo para la obtención de azúcares y otros compuestos que requieren para el normal desarrollo de su ciclo vital. El proceso por el que realizan esa captación y transformación de CO₂ recibe el nombre de fotosíntesis, debido a la energía solar que consumen para completarla. Como idea general se puede concluir que las plantas, a través de la fotosíntesis, extraen el carbono de la atmósfera (en forma de CO₂) y lo convierten en biomasa. La biomasa al descomponerse se convierte en parte del suelo (en forma de humus) o de nuevo en CO₂ (a través de la respiración de los microorganismos que procesan la biomasa); pero en una cantidad considerablemente inferior a la que se tenía previamente en el aire.

La fotosíntesis es un proceso que se desarrolla en dos fases. La primera fase es un proceso que depende enteramente de la luz, de ahí que se llamen reacciones luminosas o de luz. Esta fase requiere la energía directa de la luz para generar la energía química y reductora que serán utilizadas en la siguiente fase del proceso. La fase independiente de la luz, denominada fase de oscuridad; se realiza cuando los productos obtenidos en las reacciones de luz son utilizados para, a partir del dióxido de carbono, formar enlaces de tipo covalente carbono-carbono (C-C) a partir de los carbohidratos mediante el Ciclo de Calvin o ciclo de fijación del carbono en la fotosíntesis. Este proceso de la fotosíntesis se produce en los cloroplastos de las células.

Dependiendo del tipo de fijación de CO₂, la planta tendrá un metabolismo distinto y, por lo tanto, se clasifican en plantas C-3, C-4 o CAM. En ellas, tanto la eficiencia del uso del agua como la tasa de fijación de CO₂ son diferentes.

- Plantas C-3: Se caracterizan por mantener los estomas abiertos durante el día para permitir la fijación de CO₂, lo que provoca una pérdida de agua por transpiración, de forma continua. Ante el riesgo de deshidratación ocasionado por un estrés ambiental, estas plantas producen un cierre estomático que provoca una gran disminución de la fotosíntesis. Cerca del 85% de las especies de plantas del planeta son C3; entre ellas el arroz, el trigo, la soja y todos los árboles.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- Plantas C-4: Se caracterizan por tener los estomas abiertos de día, pero pueden permitirse un cierre de estomas imprevisto, siendo factible la continuidad del proceso fotosintético, gracias al reservorio de CO₂. Esto ocurre porque las reacciones dependientes de la luz y el ciclo de Calvin están físicamente separadas; las primeras se producen en las células del mesófilo (en el centro de la hoja) y el ciclo de Calvin ocurre en unas células específicas de este tipo de plantas llamadas células del haz vascular y ubicadas alrededor de las “venas” de las hojas. Estas plantas, como la caña de azúcar o el maíz, son comunes en hábitats cálidos.
- Plantas CAM: Estas plantas en vez de separar las reacciones dependientes de la luz y el ciclo de Calvin en el espacio, las separan en el tiempo. Así, por la noche abren sus estomas para que el CO₂ se fije; mientras que durante el día desarrollan la fotosíntesis sin necesidad de mantener abiertos los estomas. De esta forma las pérdidas de agua por transpiración se reducen enormemente. Las propiedades de las plantas CAM, como los cactus y las piñas, les permiten una supervivencia en entornos con déficit hídrico.

Una vez explicado, de forma breve, el proceso por el que las plantas consumen CO₂ y, por tanto, ayudan a reducir el calentamiento global; se procede a recopilar datos e información concreta respecto a la capacidad de las distintas plantas para absorber CO₂. Dado que el estudio busca identificar la vegetación más adecuada para los jardines verticales y las cubiertas verdes, se quiere conocer la capacidad de captación de CO₂ en función de varios factores:

- Peso de la planta, es decir, gramos de CO₂/ kg planta; pues es un aspecto clave en el diseño de estos jardines.
- Espacio ocupado por la vegetación: gramos de CO₂/m².
- Necesidad de riego de la planta o árbol: gramos de CO₂/litros de agua.

Así pues, como primera aproximación se empieza por mostrar las conclusiones del estudio realizado por la profesora Micaela Carvajal, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), para la Región de Murcia: “Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos”. En este estudio se analiza la capacidad de captación de CO₂ de distintos cultivos con un gran nivel de detalle pues valoran tanto el peso de la planta como el espacio ocupado, que son 2 de los factores decisivos de nuestro proyecto. En la siguiente tabla se recogen los resultados obtenidos:

Planta	Captación (g CO ₂ /planta-año)	Densidad (Plantas/m ²)	Captación (g CO ₂ /m ² -año)	Peso Planta (g/m ²)
Tomate	1.590	2	3.180	11.654
Pimiento	1.029	2,2	2.264	3.769
Sandía	1.489	0,4	596	8.438
Melón	802	1	802	4.831
Cogollo	55,4	15	831	8.751
Lechuga	129,8	6,5	844	8.919
Brócoli	238,7	3,5	835	4.139
Coliflor	342,5	3,5	1.199	8.283
Alcachofa	1.854	0,7	1.298	3.491
Avena	10,63	128	1.361	2.957
Cebada	13	100	1.300	6.390
Trigo	11	125	1.375	2.288
Albaricoquero	84.498	0,020	1.724	3.729
Ciruelo	40.777	0,057	2.324	5.530
Melocotonero	49.771	0,057	2.837	6.639
Nectarina	46.644	0,057	2.659	6.069
Parras	23.315	0,082	1.912	5.262
Limonero	106.933	0,028	2.994	7.975
Naranja	49.345	0,042	2.072	5.607
Mandarino	31.101	0,042	1.306	3.738

Tabla 9: captación de CO₂ de cultivos. Elaboración propia

Como se podrá comparar a continuación, la capacidad de absorción de CO₂ de todos estos cultivos es muy inferior a la de otros árboles, por lo que de cara a los objetivos del proyecto parece una opción a desechar. No obstante; el aprovechar las cubiertas de los edificios para tener cultivos urbanos ofrece otras ventajas:

- El consumo de alimentos naturales, sin aditivos ni conservantes.
- Desarrollar actividades de tipo educativo o social en las que se enseñe y se trabaje con menores, personas en situación de exclusión, etc.
- La posibilidad de crear puestos de trabajo de baja graduación o titulación.

Por esos motivos, aunque no sea el modelo de cubierta verde más interesante desde el punto de vista medioambiental o económico, sí puede tener su aplicación en lugares como colegios, centros culturales y demás espacios públicos; por lo que es un tipo de cubierta a considerar en el desarrollo de un modelo de negocio.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

El siguiente estudio del que se han tomado datos para configurar este registro es el estudio de la Federación Española de Municipios y Provincias: “Los Sumideros de Carbono a Nivel Local”, con el que se tenía la intención de ofrecer una guía para la remodelación de parques y jardines de los municipios de manera que pudiesen escoger las especies a plantar en función de su capacidad de captación de carbono, sus necesidades hídricas, etc.

En primer lugar, se ha conformado una tabla con la capacidad de captación de CO₂ por árbol de las distintas especies analizadas en este estudio. Dicha tabla, que se puede ver en la siguiente hoja, muestra con total claridad que la capacidad de retención de estas especies es muy superior a la de cualquier cultivo de los estudiados anteriormente. No obstante, de cara a su uso en las cubiertas de los edificios, presenta el problema de las necesidades hídricas y, sobre todo, del peso, ya que la capacidad de carga de los edificios supone un factor muy limitante a la hora de diseñar estos jardines. En línea con estos factores se añadirán, en los siguientes capítulos, las características de peso, espacio necesario y necesidades de riego de las distintas especies, para poder afinar mucho más la selección de especies.

Especie	Fijación CO₂ anual (Kg/árbol)
Castaño	210
Eucalipto	560
Haya	140
Nogal	112
Pino canario	190
Pino carrasco	720
Pino negral	112
Pino rodeno	196
Pino monterrey	466
Chopo	476
Cerezo	182
Roble	112
Encina	112
Alcornoque mediterráneo	126
Aliso	350
Almez	570
Algarrobo	1400
Majuelo	900
Fresno sureño	780
Enebro rojo	230
Olivo silvestre	2200

Tabla 10: captación de CO₂ de árboles frecuentes en la Península Ibérica. Elaboración propia

El siguiente estudio que se ha tomado como referencia para continuar con esta clasificación de árboles y vegetación es: “Evaluación de la capacidad de sumidero de CO₂ de la vegetación arbórea y arbustiva susceptible de ser utilizada en la red de carreteras de Andalucía. Generación de un modelo estacional de funcionamiento de sumideros y aplicación a un caso práctico”. Desarrollado por el Grupo de Ecología Citogenética y Recursos Naturales para la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía.

En este informe, se recoge un estudio muy profundo de múltiples especies de árboles en el que se analiza su crecimiento, el espacio que necesitan sus raíces, sus capacidades de absorción de CO₂ y muchas otras cuestiones. Entre ellas, un análisis especialmente interesante para este proyecto es el que establece, para cada especie, la relación entre la necesidad de riego y la capacidad de captación de CO₂. Este estudio permite disponer de un cruce entre dos factores fundamentales para el diseño y mantenimiento de los jardines urbanos, de ahí que resulte tan valioso para el presente proyecto. En la siguiente hoja se incluye la tabla correspondiente a la captación de CO₂ por agua consumida.

Eficiencia en el uso del agua (WUE)	
Especie	WUE (moles CO₂ /mol H₂O)
Pino carrasco	3,96
Alcornoque	1,79
Retama amarilla	3,88
Olivilla	4,17
Albaida	4,29
Romero	2,87
Acebuche	4,12
Algarrobo	3,36
Adelfa	6,01
Tomillo	3,4
chopo negro	3,1
Majuelo	3,5
Peral ibérico	1,57
Salvia	3,46
Olivo silvestre	4,12
Pino piñonero	3,28
Retama negra	3
Lentisco	3,71
Espino negro	5,08

Tabla 11: absorción de CO₂ en función de consumo de agua (moles). Elaboración propia

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

De cara a desarrollar el modelo de negocio y poder cuantificar los consumos de agua y la captación de CO₂ resulta incómodo trabajar con moles, por lo que se prefiere transformar esa cantidad en litros de agua y Kg de CO₂. Dada su composición, 1 mol de agua equivale a 55,6 g, y 1 mol de CO₂ son 44 g. De esta manera se pueden calcular los kg de CO₂ absorbidos por litro de agua consumido para cada planta o árbol, como se muestra en la tabla de la siguiente hoja.

Eficiencia en el uso del agua (WUE)	
Especie	WUE (Kg CO₂ /L H₂O)
Pino carrasco	9,68
Alcornoque	4,38
Retama amarilla	9,48
Olivilla	10,19
Albaida	10,49
Romero	7,02
Acebuche	10,07
Algarrobo	8,21
Adelfa	14,69
Tomillo	8,31
chopo negro	7,58
Majuelo	8,56
Peral ibérico	3,84
Salvia	8,46
Olivo silvestre	10,07
Pino piñonero	8,02
Retama negra	7,33
Retama amarilla	9,48
Lentisco	9,07
Espino negro	12,42

Tabla 12: absorción de CO₂ en función del consumo de agua (kg/L). Elaboración propia

Por último, cabe destacar la capacidad de captación de CO₂ del árbol Kiri, originario de Japón, que de acuerdo con los estudios llevados a cabo en distintas universidades es el árbol con mayor capacidad de absorción de CO₂: hasta 20 Kg diarios, es decir, 7300 kg anuales, con lo que puede compensar las emisiones de unos 7 vehículos. Esta capacidad de captación de CO₂, ha hecho que el kiri se convierta en la opción favorita para jardines urbanos de todo tipo, presente en varios de los jardines verticales más representativos del mundo.



Imagen 26: Árbol Kiri. Fuente: Árbol Kiri Facebook

5.2 Clasificación según la producción de oxígeno

La capacidad de los árboles para producir oxígeno es otro de los principales motivos para fomentar el desarrollo de vegetación en las ciudades, hasta el punto de que ya se han establecido valores mínimos recomendables de concentración de oxígeno y, cantidad de árboles por habitante que se debe tener en las áreas urbanas para alcanzar dichos valores mínimos. Según ha asegurado la OMS, se necesita, al menos, un árbol por cada tres habitantes para respirar un mejor aire en las ciudades y un mínimo de entre 10 y 15 metros cuadrados de zona verde por habitante; lo que lleva directamente a potenciar o fomentar el desarrollo de jardines urbanos de todo tipo, y más concretamente de los jardines verticales y las cubiertas verdes. La propia OMS ha concluido que los beneficios de salud proporcionados por este aumento de la vegetación en las ciudades serían comparables a los conseguidos mediante un aumento de 10.000 dólares en el gasto sanitario por habitante al año, o a reducir la edad media de la población en 7 años.

Como pasaba con la captura de CO₂, la producción de oxígeno es una consecuencia directa del proceso de la fotosíntesis. En este proceso las plantas absorben CO₂ y lo metabolizan para la obtención de azúcares, empleando la energía de la luz solar para llevar a cabo dicha metabolización; como residuo de dicho proceso, emiten oxígeno, ADP (adenosín difosfato) y NADP⁺ (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato). Para una explicación más profunda del proceso de la fotosíntesis y sus distintas clases se puede leer el capítulo 5.1 de captación de CO₂, en que se ha explicado con mayor nivel de detalle.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

De cara a recopilar los árboles y plantas que más oxígeno producen se va a realizar una primera división entre plantas pequeñas, que resulten adecuadas para jardines interiores de tamaño reducido; y árboles y plantas grandes que puedan disponerse en jardines exteriores. Se hace esta distinción porque los árboles de mayor tamaño tendrán, por norma general, una mayor capacidad de producción de oxígeno; pero en muchos casos la mayor necesidad de renovar el aire y disponer de oxígeno se dará en jardines interiores, especialmente aquellos que se instalen en oficinas, centros comerciales, y demás espacios con alta concentración de personas.

Capacidad de producción de oxígeno en plantas

En la investigación que se ha realizado para encontrar aquellas plantas con mayor capacidad de producción de oxígeno, se han encontrado múltiples artículos que enumeran dichas plantas, ofreciendo a menudo un enlace para comprarlas. No obstante, no se han encontrado estudios con mediciones cuantitativas de los niveles de producción de oxígeno de estas plantas. Así pues, sólo se ofrecerá una lista de plantas que, de acuerdo con estos artículos, tienen un buen nivel de producción de oxígeno, ofreciendo también sus características de tamaño.

- Kalanchoe: género de plantas de la familia de las crasas. Incluye múltiples tipos de distintos colores y con tamaños que van desde los 30cm hasta los 3m.
- Helechos: más allá de su producción de oxígeno están especialmente indicados para la absorción de monóxido de carbono, por lo que son muy recomendables en viviendas con estufas antiguas.
- Sansevieria: esta planta destaca por ser capaz de producir oxígeno también durante la noche, por lo que también es recomendable para viviendas.
- Lirio de la paz: considerada la planta con mayor capacidad de producción de oxígeno; está especialmente recomendada por la NASA que la utiliza en sus instalaciones desde hace décadas.
- Palma kentia: esta planta queda especialmente recomendada para su uso en espacios con alta concentración de personas, como oficinas o restaurantes, porque a su buena producción de oxígeno suma una gran capacidad de absorción de CO₂ y formaldehído.
- Albahaca india: planta que a su producción de oxígeno suma su olor agradable y fresco y su resistencia a altos niveles de humedad como motivo para utilizarla en espacios con alta concentración de personas.

Capacidad de producción de oxígeno en árboles

La primera cuestión que se debe tener en cuenta para estimar la producción de oxígeno es que será mayor en aquellos árboles que presenten ritmos altos de crecimiento y que tengan buena capacidad de absorción de CO₂, puesto que con ese CO₂ se produce el oxígeno. Estas dos características están relacionadas con la superficie de hojas de los árboles, ya que es en las hojas donde se realiza la fotosíntesis. Por ese motivo, las coníferas, por ejemplo, son un tipo de árbol especialmente indicado para la producción de oxígeno.

En el estudio de árboles o plantas de gran tamaño sí se han podido localizar estudios con valores concretos de la capacidad de captación de CO₂. A continuación, se muestra la tabla conformada con los valores obtenidos del artículo de Ecología verde, una web con contenidos muy interesantes de jardinería y cuidado de vegetación que ofrece explicaciones fáciles de comprender para personas no iniciadas en la materia.

Para disponer de una referencia con la que contextualizar los niveles de producción de los árboles, se puede estimar que el consumo de oxígeno de una persona oscila entre 7 y 8,5 litros diarios.

Especie	Producción oxígeno (Kg/día)
Kiri	16
Pino carrasco	18
Pino piñonero	13
Alcornoque	15
Jacaranda	9
Melia	12
Acacia	10
Olmo	8

Tabla 13: producción de oxígeno (kg/día). Elaboración propia

5.3 Clasificación según la capacidad de aislante térmico

De entre todos los beneficios generados por las cubiertas verdes y los jardines verticales, la mejora de la eficiencia energética de los edificios es, sin duda, el más interesante desde el punto de vista económico; además de tener también un impacto medioambiental muy positivo por la reducción de emisiones de CO₂ como resultado de un menor consumo de energía en climatización. Esta mejora de la eficiencia energética se produce por varios factores; como la evapotranspiración, la absorción de la radiación solar, la absorción del agua de lluvia y el efecto aislante que supone disponer de una capa extra (en este caso de vegetación) entre el muro o cubierta y el medio exterior.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

A continuación, se explica el proceso de evapotranspiración por el que plantas y árboles permiten mejorar la eficiencia energética de los edificios, especialmente en verano. En este proceso, las plantas evaporan agua a través de sus hojas para disminuir su temperatura y hacer frente al calor, y en ese proceso no sólo se refrigeran a sí mismas, sino que también enfrían su entorno. La evaporación permite reducir su temperatura porque supone un gasto de energía (por el cambio de estado), de manera que en lugar de acumular la energía del sol se emplea en este proceso.

La capacidad de las plantas para captar agua del suelo sirve como apoyo al efecto de aislante térmico de dos maneras:

- Por un lado, constituye un paso previo del sistema de evapotranspiración que se acaba de explicar, pues el disponer de esa agua hace posible que posteriormente se utilice en la evapotranspiración.
- La otra manera en que participa de esta mejora de la eficiencia energética es alimentando el crecimiento de las plantas y árboles, pues a un mayor crecimiento aumenta su capacidad de evapotranspiración, absorción de la radiación solar y capacidad de aislante.

La absorción de la radiación solar por parte de la vegetación resulta fundamental para llevar a cabo el proceso de la fotosíntesis, gracias al cual producen su alimento. De esta forma, el tener un aprovechamiento de la energía solar en lugar de una mera acumulación como ocurriría en cualquier material inerte; hace que pueda continuar absorbiendo energía solar a un ritmo mucho más alto sin llegar a la saturación. La capacidad de captar radiación solar en plantas y árboles guarda una estrecha relación con su crecimiento, pues a mayor energía solar que captan más producción de azúcares para su alimento y mayor crecimiento. Ese es uno de los motivos de la exuberancia de las selvas tropicales, así como un factor a considerar a la hora de diseñar jardines en los que dicha absorción de la radiación solar sea un factor fundamental (como será habitual en zonas especialmente calurosas).

En relación con la capacidad de las plantas para absorber radiación solar, se ha encontrado un estudio muy interesante llevado a cabo por la Universidad de Cornell. Si bien el objetivo de este estudio es desarrollar cultivos que aprovechen mejor la energía solar para producir más alimento, también guarda una clara relación con el objetivo de este proyecto. Una planta que aprovechase en mayor medida la energía solar lograría crecer más rápidamente y, por tanto, consumir más energía solar, con lo que se incrementaría su capacidad como aislante térmico del edificio. El proyecto se centraba en el estudio del rubisco, la encima encargada de la síntesis de azúcares a partir del CO₂, y lograron identificar una serie de bacterias que, al aumentar en cantidad, permitían acelerar dicha síntesis en los cultivos de tabaco, provocando un crecimiento más rápido.

Por último, cabe destacar que el disponer de una capa de vegetales entre el edificio y el aire exterior implica, necesariamente, aumentar el espesor del muro y por tanto reducir la transmisión de temperatura entre el exterior y el interior. Además, entre los aislantes artificiales cada vez son más utilizados los de tipo vegetal como el cáñamo, la fibra de lino, la fibra de madera o el aislamiento de corcho; que presentan conductividades térmicas inferiores a la mayoría de los aislamientos de otros orígenes. Por lo que los propios árboles y plantas, que están compuestos de esos mismos materiales, presentarán unas conductividades similares.

En la investigación realizada no se han encontrado estudios cuantitativos de especies concretas de plantas y árboles, si bien sí existe mediciones de la capacidad de aislante térmico que tienen los distintos tipos de cubiertas: intensivas, semi-intensivas y extensivas. Como resulta lógico suponer las cubiertas intensivas son las que más mejoran la eficiencia energética de los edificios, por los siguientes factores:

- Especies que alojan: la capacidad de evapotranspiración y absorción de la radiación está íntimamente relacionada con la superficie de hojas y el crecimiento de la vegetación. Por ese motivo, los árboles más grandes y que crecen a un ritmo más rápido absorben más energía mediante estos sistemas. Dichos árboles o plantas de gran tamaño se encuentran presentes en las cubiertas intensivas.
- Espesor de la cubierta: la capacidad de aislante debido a la reducción de la transmisión de calor está directamente relacionada con el espesor del sustrato y el cultivo que se disponga; pues implicará que el calor debe atravesar una mayor cantidad de materia para llegar al edificio. El espesor de las cubiertas intensivas es muy superior a las extensivas, de entre 5 y 20 veces, por lo que ofrecerá una capacidad de aislamiento mucho mayor.

De esta forma, se ha podido concluir que para desarrollar cubiertas y jardines verticales que mejoren lo máximo posible la eficiencia energética del edificio, la mejor opción es, sin duda, disponer de cubiertas intensivas con una importante capa de sustrato.

En caso de que no sea posible el uso de estas cubiertas intensivas, se han identificado dos cuestiones que resultan recomendables para el diseño de un jardín extensivo que pretenda optimizar su capacidad de aislamiento térmico:

1. En lugar de utilizar especies de más peso, destinar la mayor parte de la carga posible a la disposición de un sustrato abundante que permita aumentar el espesor del muro y mejorar su aislamiento. Al fin y al cabo, si no se pueden utilizar grandes árboles, la capacidad de evapotranspiración y absorción de la luz entre unas plantas y otras no varía tanto.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

2. Utilizar plantas verdes con gran superficie de hojas en relación con su peso, de manera que se potencie al máximo la evapotranspiración y la absorción de radiación solar sin exceder las cargas admisibles. Ejemplos de estas plantas serían los cactus (no realizan la absorción de sol por sus hojas sino mediante su tallo), la palmera enana, o la capa de la reina.

Climas continentales: uso de árboles de hoja caduca

Un árbol de hoja caduca o caducifolio es aquel que, después de terminar un periodo de crecimiento y reproducción, se deshace de todas sus hojas. Entra en un estado de bajo consumo de nutrientes para sobrellevar climas fríos y hostiles como el otoño o el invierno (aunque no exclusivo de estos), muy parecido a la hibernación de muchos animales. El mecanismo que estos árboles usan es privar de la clorofila a sus hojas que ya no suministran una buena energía fotosintética. Provocando de esta forma, que las hojas pasen de su característico verde a tener coloraciones amarillentas y naranjas, marchitándose y secándose hasta el punto de que el más mínimo viento las puede arrancar.

Estos árboles son especialmente longevos y pueden durar generaciones, debido a que este sistema de ahorro de energía les permite reducir en gran medida el deterioro, posponiendo su envejecimiento, por así decirlo, durante décadas. Por otro lado, tienen un crecimiento bastante lento, lo que implica que su consumo de CO₂ y agua, así como su producción de oxígeno sea inferior. Por este mismo motivo no necesitan especiales cuidados ya que por lo general sobreviven muy bien por su propia cuenta y tienen mayor capacidad de adaptarse a distintos climas que los árboles de hoja perenne.

De cara al diseño de jardines que reduzcan el consumo de energía en climatización, un factor muy importante es el clima del lugar en que se disponga el jardín. Para lugares fríos en invierno y calurosos en verano, como ocurre en buena parte del territorio español, lo más adecuado es aprovechar al máximo la radiación solar en invierno y protegerse de ella en verano, lo que lleva directamente a recomendar este tipo de vegetación, los árboles de hoja caduca. El uso de estas especies entra en conflicto con la captación de CO₂ y la producción de oxígeno, para lo que son mucho menos capaces de los árboles de hoja perenne o las plantas de tipo tropical; pero si el objetivo es mejorar la eficiencia energética mediante la reducción de la radiación solar en verano, y la captación de la mayor cantidad de sol posible en invierno, son, sin duda, la mejor opción disponible.

En base a lo estudiado de los árboles de hoja caduca es evidente que se deben incorporar al uso en cubiertas y jardines verticales aquellas especies que cumplan con los siguientes requisitos:

- Resistencia a climas duros.
- Menor necesidad de consumo de agua.
- Frondosidad de la copa durante el verano.

- Crecimiento lo más rápido posible.

Con esos criterios se ha elaborado una lista de árboles que resultan especialmente interesantes para su uso:

- Arce real o noruego, árbol que puede alcanzar los 25m de altura, con un crecimiento muy rápido para ser de hoja caduca; apenas necesita mantenimiento y está presente por casi toda la Europa continental.
- Nogal: un árbol especialmente frondoso, muy robusto y con gran resistencia a los cambios de temperatura.
- Manzano: especialmente longevo y con gran resistencia a climas adversos, tiene un tamaño más reducido, por lo que es recomendable para cubiertas con menos capacidad de carga.
- Álamo: con mayor exigencia de agua que la mayoría de los árboles de hoja caduca, ofrece gran resistencia a climas duros y un peso muy reducido en relación con su tamaño.

De cara a su instalación, tema que se explicará con más detalle en el capítulo de soluciones propuestas, resulta muy interesante la posibilidad de disponer de estructuras horizontales en el muro, ubicadas aproximadamente 2 metros bajo las ventanas. De esta forma los árboles tapan en buena medida las ventanas durante el verano, protegiendo así de la radiación solar los elementos del muro que tienen una menor capacidad de aislamiento.

5.4 Clasificación según las temperaturas

Para el diseño y posterior mantenimiento de los jardines es fundamental disponer de especies que se adapten de la mejor manera posible al clima del lugar que ocupan, en especial a las temperaturas pues, a diferencia de las necesidades hídricas, no hay posibilidad de “solventarlos” mediante el riego. Por ese motivo se ha decidido llevar a cabo una búsqueda por zonas climáticas, identificando la vegetación más adecuada para las distintas zonas que se encuentran en España, de manera que tengamos una primera aproximación para identificar las especies que son viables en cada ubicación, y las que tendrían más problemas para vivir en condiciones.

El análisis se centra en aquellas especies que presentan un mejor comportamiento en los aspectos que se han analizado previamente: captación de CO₂, producción de oxígeno y aislamiento térmico.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Análisis de zonas climáticas

En España se encuentran, a grandes rasgos, tres zonas climáticas principales: una atlántica o templado húmeda, una mediterránea y otra subtropical (Canarias). La zona atlántica o templada húmeda se extiende desde Galicia hasta el Pirineo, y se caracteriza por su elevada pluviometría que se reparte a lo largo de todo el año. La influencia del mar proporciona oscilaciones térmicas pequeñas, con veranos frescos e inviernos suaves. De esta forma se tiene un clima que resulta agradable y cómodo para la mayor parte de especies vegetales, excluyendo las que necesiten una gran exposición al sol; de ahí que en estas zonas se encuentren los bosques más frondosos y se tenga menor necesidad de sistemas de riego y fertilización.

La zona mediterránea se extiende al sur de la Cordillera Cantábrica y comprende el resto de la Península Ibérica y Baleares, caracterizándose, en general, por la alternancia de períodos secos con veranos áridos y otros lluviosos que, según la zona, se producen en diversas épocas del año. En la zona mediterránea se pueden distinguir varias áreas con importantes diferencias entre ellas, hasta el punto de que podría identificarse una cuarta zona climática.

Podemos distinguir una zona supramediterránea o continental, con inviernos muy fríos y veranos cálidos, extendiéndose por el centro y este de las Mesetas, en el valle del Ebro y en algunas zonas de Granada. En estas zonas se tienen las peores condiciones para la vegetación, pues a las lluvias escasas se suma una variabilidad térmica muy severa, que reduce en gran medida la cantidad de especies que pueden desarrollarse en ella.

La segunda área de la zona mediterránea es la mesomediterránea, que se extiende desde el oeste de la Península a través de los valles del Tajo, Guadiana y Guadalquivir, con influencias atlánticas que suavizan los inviernos pero que se van diluyendo hacia el este y hacia el sur debido a los sistemas montañosos. De entre toda la zona mediterránea, ésta es la que presenta unas características más adecuadas para el desarrollo de la mayor parte de la vegetación, debido a esa influencia atlántica que suaviza el frío invernal y el calor veraniego.

La termomediterránea es la última zona de clima mediterráneo, y se caracteriza por esa alternancia entre períodos secos con veranos áridos y períodos lluviosos que tienen su máximo en las situaciones de "gota fría", generalmente en primavera y en otoño. Las temperaturas invernales son suaves debidas a la influencia marina y las veraniegas a veces son muy altas debido a la llegada de aire caliente procedente de África. Esta aridez de la zona termomediterránea tiene su máximo exponente en el sudeste peninsular, abarcando las provincias de Alicante, Murcia y Almería, donde se habla incluso de "desertización".

Por último, se distingue la zona subtropical, presente fundamentalmente en Canarias y también en una estrecha franja costera desde Granada hasta Huelva que goza de este clima gracias a la protección de las sierras béticas. Estas condiciones, en especial en Canarias, ofrecen la posibilidad de tener multitud de plantas de tipo tropical, que son mucho más frondosas y presentan grandes tamaños.

Utilizando las temperaturas medias de las mínimas absolutas anuales, se obtiene el mapa que se muestra a continuación; en el que quedan definidas mediante la unión de las isotermas cinco grandes zonas climáticas que van desde la zona 7, con temperaturas medias mínimas que oscilan entre $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta la zona 11, de las Islas Canarias, con temperaturas medias mínimas entre $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

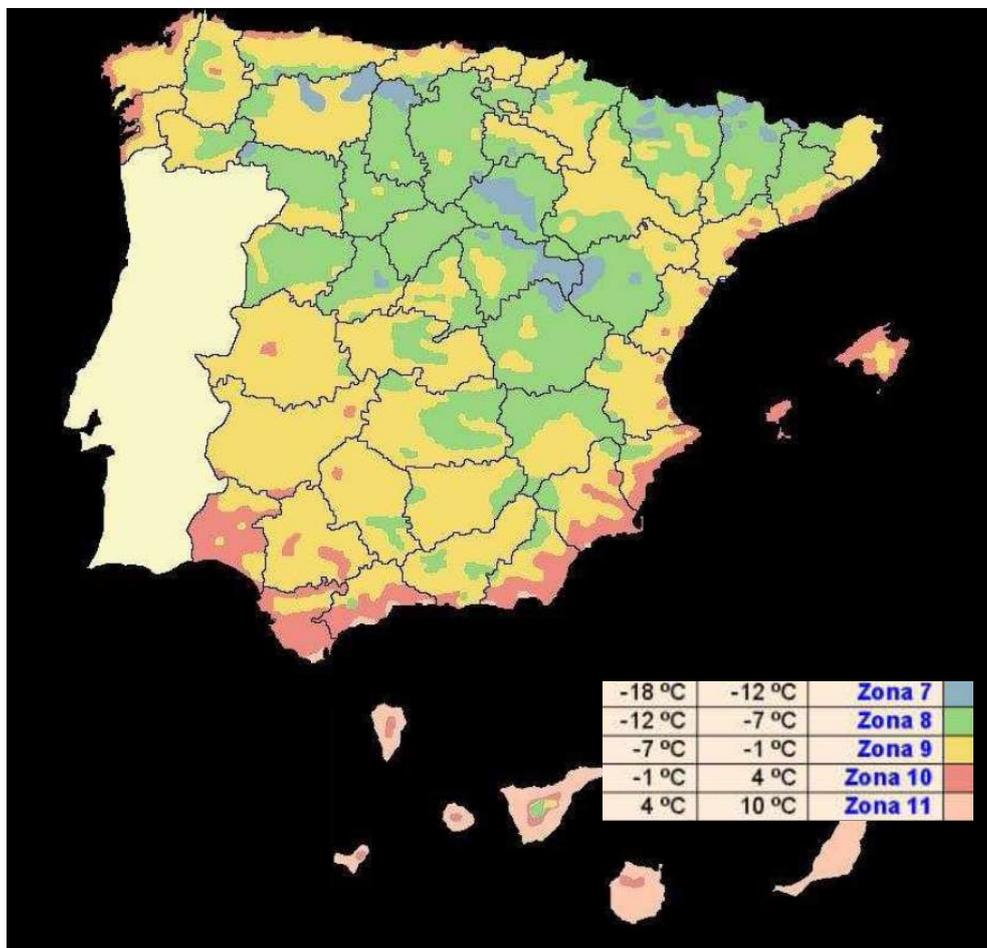


Imagen 27: mapa de zonas climáticas de España. Fuente: arbolesornamentales.es

En el mapa queda claro que, en la Península, se distinguen 3 zonas fundamentales, sobre todo si se tiene en cuenta que este proyecto está pensado para el uso de plantas en núcleos urbanos, ya que la zona 7, presente en pequeñas regiones del tercio norte de la península, apenas coincide con esos núcleos urbanos. Por lo tanto, se dará especial importancia a las especies que se puedan adaptar a las zonas 8, 9 y 10. Además, tenemos la zona 11 en Canarias, Málaga y Cádiz, por lo que también será interesante disponer de plantas y árboles que se adapten correctamente a estas condiciones.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

En la siguiente hoja se muestra una tabla con las zonas climáticas en que se pueden desarrollar varios de los árboles y plantas que se han estudiado en este capítulo. A dichas especies ya analizadas se suman algunas de las que se recomiendan específicamente por parte de empresas del sector, que no se habían mencionado con anterioridad por no encontrar datos referentes a su absorción de CO₂, producción de oxígeno o capacidad de aislamiento térmico.

Especies	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 10	Zona 11
Pino carrasco	X	X	X	X	
Pino monterrey		X	X	X	
Eucalipto			X	X	X
Chopo	X	X	X	X	
Almez	X	X	X	X	
Algarrobo			X	X	X
Olivo silvestre		X	X	X	X
Alcornoque		X	X	X	
Majuelo	X	X	X		
Fresno	X	X	X	X	
Adelfa			X	X	X
Albaida		X	X		
Espino negro	X	X	X	X	
Kiri	X	X	X	X	
Acacia		X	X	X	
Melia		X	X	X	X
Olmo	X	X	X		
Arce real	X	X	X		
Nogal	X	X	X	X	
Manzano	X	X	X		
Álamo	X	X	X	X	

Tabla 14: zonas climáticas a las que se adaptan los árboles estudiados. Elaboración propia

Especies	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 10	Zona 11
Kalanchoe				X	X
Helecho común			X	X	X
Lengua cervina (helecho)		X	X	X	X
Helecho hembra	X	X	X	X	
Sansevieria				X	X
Lirio de la paz					X
Palma kentia				X	X
Albahaca india				X	X
Retama amarilla		X	X	X	X
Retama negra		X	X	X	X
Sédum acre	X	X	X	X	
Sédum álbum	X	X	X	X	X
Flor de estrella	X	X	X	X	X

Tabla 15: zonas climáticas a las que se adaptan los árboles estudiados. Elaboración propia

A estas plantas y árboles, que se han identificado como opciones interesantes por su comportamiento en distintos aspectos, se deben sumar aquellas especies que, si bien no se ha encontrado información cuantitativa sobre su efecto medioambiental o energético; son recomendadas y utilizadas por empresas que construyen cubiertas y/o jardines verticales en España actualmente.

Dichas especie se dividen en tres grandes grupos: indicadas para cubiertas extensivas, recomendadas para cubiertas intensivas y plantas trepadoras, que son muy interesantes para los jardines verticales o muros verdes. A continuación, se incluyen las tablas de adaptabilidad a zonas climáticas de dichas especies.

Plantas recomendadas para cubiertas extensivas					
Especies	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 10	Zona 11
Romero	X	X	X	X	X
lavanda	X	X	X	X	
Hierba de San Juan	X	X	X	X	
Gramíneas	X	X	X	X	
Escobillón rojo			X	X	X
Aptenia			X	X	X
Coqueta		X	X	X	X

Tabla 16: adaptabilidad de especie recomendadas para cubiertas extensivas. Elaboración propia

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado



Imagen 28: Vegetación presente en cubiertas extensivas. Fuente: Zinco

Plantas recomendadas para cubiertas intensivas					
Especies	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 10	Zona 11
Arce japonés	X	X	X		
Camelia de navidad	X	X	X		
Azahar de China			X	X	X
Cornejo siberiano	X	X	X		
Durillo	X	X	X	X	
Aligustre	X	X	X	X	
Cotoneaster	X	X	X	X	X
Fotinia	X	X	X	X	

Tabla 17: adaptabilidad de especie recomendadas para cubiertas intensivas. Elaboración propia



Imagen 29: Vegetación presente en cubiertas intensivas. Fuente: Viveros Olimpia Sevilla

Plantas trepadoras: indicadas para muros verdes					
Especies	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 10	Zona 11
Vid del chocolate	X	X	X		
trompeta amarilla				X	X
Vid de la fraternidad	X	X	X		
Enredadera del mosquito			X	X	X
Trepadora del coral			X	X	X
Hiedra común	X	X	X	X	X
Asarina		X	X	X	
Espuma de mar			X	X	X
Michay rojo	X	X	X		

Tabla 18: adaptabilidad de plantas trepadoras para jardines verticales. Elaboración propia

Así, con todo lo expuesto en este capítulo, se puede formar una base de datos completa con la que identificar aquellas especies que podrán vivir y evolucionar correctamente en cada zona climática. De esta manera se facilita mucho el diseño de los jardines verticales y las cubiertas, reduciendo la necesidad de llevar a cabo estudios concretos para cada cliente y ubicación.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

5.5 Clasificación según las necesidades hídricas

El agua es vital para las plantas, pues les sirve como constituyente celular, estabilizador de temperatura, disolvente y medio de transporte de sustancias. Del mismo modo, es evidente que el consumo de agua de los jardines es un factor fundamental para su diseño, tanto desde un punto de vista económico, pues entre los gastos de mantenimiento es, en la mayoría de los casos, el mayor; como a nivel medioambiental, ya que el agua es un recurso cada vez más valioso y escaso. Se debe, por tanto, encontrar el equilibrio entre un jardín que ofrezca un buen comportamiento energético, de reducción de emisiones y purificación del aire; sin que suponga un gasto desmedido de agua. Por ese motivo es fundamental identificar aquellas especies que ofrezcan el mejor comportamiento posible pudiendo reducir al máximo la necesidad de riego artificial, es decir, teniendo capacidad para adaptarse al clima del lugar que habiten.

Como explicación somera del uso que dan las plantas al agua, resulta importante decir que en torno al 97% del agua consumida por las plantas se limita a pasar por ellas, siendo cedida a la atmósfera mediante la evapotranspiración. Este proceso, del que ya se ha hablado en el capítulo del aislamiento térmico, es afectado por características del árbol como la superficie de las hojas, su exposición y la respuesta estomática (regulación del cierre de los estomas, es diferente en las distintas especies). El vapor de agua sale de las plantas gracias a un gradiente de la presión de vapor de agua entre la planta y el aire exterior, y dicho gradiente depende también de la temperatura, el viento y la humedad del aire.

Como primera aproximación a los consumos de agua se presenta siguiente tabla, que compara distintos tipos de vegetación facilitando sus dimensiones y la cantidad de agua que transpiran:

Tipo de vegetación	Altura (m)	Diámetro tronco (cm)	Agua transpirada (L-H ₂ O/día)
Árbol de bosque tropical	20-35	30-60	100-400 (hasta 800)
Fronosas caducifolias de zonas templadas	30-35	50-60	80-140 (hasta 400)
<i>Pseodutosuga menziesii</i>	76	130	530
<i>Pinus radiata</i> (en plantaciones)	25	40	350
<i>Pinus sp.</i> (de zonas templadas)	20-25	20-40	120-160
<i>Eucalyptus sp.</i> (en plantaciones)	15-60	15-90	50-280
<i>Populus</i> híbridos (en plantaciones)	5-15	8-20	70-110

Tabla 19: agua transpirada por distintos tipos de vegetación. Fuente: smartfertilizer.com

En esta tabla se puede comprobar que los árboles de hoja caduca, o plantas caducifolias, presentan un nivel de transpiración muy inferior. Algo lógico si entendemos que al no mantener sus hojas durante el año reducen mucho la absorción de nutrientes, y por tanto el crecimiento, es decir, se mantienen en un estado vegetativo en que apenas consumen agua. Además, al quedarse sin hojas ofrecen menor superficie para la evapotranspiración, pues el área que ocupan las hojas de un árbol puede ser entre 10 y 50 veces superior a la superficie de sus ramas y tronco.

De cara a tener una clasificación lo más afinada posible de las necesidades de riego se ha realizado una investigación en diversas fuentes. La primera de ellas en la que se ha dado con una tabla con consumos de agua es el blog Agrológica, que en un artículo de 2013 indicaba las necesidades hídricas de los principales árboles frutales que se encuentran en España. A continuación, se muestran las tablas extraídas de este artículo.

Frutales resistentes a la sequía, válidos para secano	
Especie	Pluviometría (mm)
Tapenera	150-200
Chumbera	200-300
Olivo	300
Pistachero	300-350
Almendro	350
Vid	350
Cerezo	50
Albaricoquero	350
Melocotonero	350
Ciruelo	350
Higuera	400-600
Níspero	450-600
Algarrobo	500

Tabla 20: Necesidades de riego de frutales, 1. Elaboración propia

Frutales tolerantes a la sequía, recomendable dar riego de apoyo	
Especie	Pluviometría (mm)
Uva de mesa	450
Jinjolero	450-650
Olivo de verdeo	500
Peral	500-600
Manzano	500-600
Granado	500-650
Caqui	650
Grosellero	600-800
Membrillero	650
Nogal	700
Mango	700

Tabla 21: Necesidades de riego de frutales, 2. Elaboración propia

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Frutales sensibles a la sequía, precisan riego obligatorio	
Especie	Pluviometría (mm)
Aguacate	750
Chirimoyo	750
Zarzamora	800-1200
Cítricos	900-1200
Frambueso	1000-1200
Papaya	1800
Kiwi	2000
Avellano	2500-3000

Tabla 22: Necesidades de riego de frutales, 3. Elaboración propia

Por otra parte, también se ha tratado de identificar los consumos de agua de aquellas especies que tenían un mejor comportamiento en el resto de los aspectos importantes para estos jardines: captación de CO₂, producción de oxígeno y capacidad de aislante térmico. Realizando una búsqueda cuantitativa no se ha dado con resultados lo suficientemente concretos, pues había árboles como el pino carrasco para los que se ofrecía una horquilla que variaba en más de un 60%.

Ante la falta de datos empíricos y suficientemente ajustados para realizar estimaciones fiables, se ha optado por realizar un estudio de las precipitaciones medias en cada zona climática, y compararlo con una clasificación de las especies según el nivel de humedad que necesiten.

Se considera una aproximación suficiente porque es razonable confiar en que una especie que se considere adecuada para una determinada zona climática presentará unas necesidades hídricas más o menos similares a las precipitaciones medias de dicha zona. Hay excepciones, fruto de la distancia al mar, la cercanía a cordilleras, y demás factores que condicionan el volumen de precipitaciones, pero sirve como referencia.

A continuación, se muestra una tabla con las necesidades hídricas de las especies de árboles que se han estudiado en los puntos previos de este capítulo, y otras dos con las especies de plantas recomendadas para las cubiertas extensivas e intensivas respectivamente. A nivel de guía, se consideran los siguientes baremos:

- Necesidad hídrica alta: a partir de 10 litros diarios por árbol.
- Necesidad hídrica media: entre 4 y 10 litros diarios por árbol.
- Necesidad hídrica baja: entre 1,5 y 4 litros diarios por árbol.
- Necesidad hídrica muy baja: por debajo de 1,5 litros diarios por árbol.

Necesidad hídrica Árboles y arbustos grandes				
Especies	Alta	Media	Baja	Muy baja
Pino carrasco		X	X	
Pino monterrey			X	X
Eucalipto	X	X		
Alcornoque			X	X
Chopo	X	X		
Almez		X	X	
Algarrobo		X	X	X
Olivo			X	X
Majuelo	X	X		
Fresno	X	X		
Adelfa		X	X	
Kiri	X	X		
Acacia	X	X	X	
Melia		X	X	
Olmo	X	X		
Arce real	X	X		
Nogal	X	X		
Manzano	X	X		
Álamo	X	X		

Tabla 23: Necesidades hídricas de otros árboles estudiados. Elaboración propia

Para las plantas, que tienen un tamaño muy inferior y, por tanto, una necesidad menor de agua, se establecen unos baremos de riego distintos:

- Necesidad hídrica alta: a partir de 6 litros diarios por árbol.
- Necesidad hídrica media: entre 2,5 y 6 litros diarios por árbol.
- Necesidad hídrica baja: entre 1,5 y 2,5 litros diarios por árbol.
- Necesidad hídrica muy baja: por debajo de 1 litros diarios por árbol.

Necesidad hídrica Plantas para cubiertas extensivas				
Especies	Alta	Media	Baja	Muy baja
Sédum acre		X	X	X
Romero		X	X	
Lavanda		X	X	
Hierba de San Juan		X		
Gramíneas	X	X	X	
Escobillón rojo		X	X	
Sédum álbum		X	X	X
Aptenia		X	X	
Coqueta		X	X	

Tabla 24: necesidades hídricas de plantas recomendadas para cubiertas extensivas. Elaboración propia

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Necesidad hídrica plantas para cubiertas intensivas				
Especies	Alta	Media	Baja	Muy baja
Camelia de navidad	X	X		
Azahar de China		X	X	
Cornejo siberiano		X	X	
Durillo		X	X	X
Aligustre		X	X	
Cotoneaster		X		
Fotinia	X	X		
Coqueta		X	X	

Tabla 25: necesidades hídricas de plantas recomendadas para cubiertas intensivas. Elaboración propia

Necesidad hídrica de plantas trepadores				
Especies	Alta	Media	Baja	Muy baja
Vid del chocolate		X	X	
trompeta amarilla	X	X		
Vid de la fraternidad		X	X	
Enredadera del mosquito		X	X	
Trepadora del coral	X	X		
Hiedra común		X	X	
Asarina	X	X		
Espuma de mar		X	X	
Michay rojo	X	X		

Tabla 26: necesidades hídricas de plantas trepadoras. Elaboración propia

Capítulo 6: Soluciones propuestas

En este capítulo se van a presentar las distintas soluciones que se han ideado para el diseño de las cubiertas verdes y los jardines verticales. El objetivo de este Trabajo Fin de Máster es desarrollar un modelo de negocio para la comercialización de estos jardines y cubiertas, por lo que se han identificado una serie de factores fundamentales que definirán las características de dichos jardines y cubiertas. Esos factores son los siguientes:

- Zonas climáticas: el estudio que se ha llevado a cabo en el capítulo de inventariado de árboles sobre la adaptación de las especies a las zonas climáticas se completará con un registro de las precipitaciones medias en dichas áreas. Así se busca disponer de las especies que mejor se adapten a cada ubicación para minimizar sus necesidades de tareas de mantenimiento, abono y riego.
- Capacidad estructural de los edificios: en función de las cargas que puedan soportar los edificios sobre los que se van a disponer los jardines, se buscarán las especies, sustratos y sistemas accesorios como los de recogida de agua, que mejor resultado puedan ofrecer respetando esa capacidad de carga.
- Capacidad de inversión del cliente: el estudio realizado en este proyecto ha permitido concluir que la más mínima introducción de la vegetación en el entorno urbano y, más concretamente, en los edificios que habitamos, es realmente positiva. Por ese motivo se quiere ofrecer esta oportunidad para los presupuestos más ajustados que haya.
- Posibilidad de acceso a la cubierta: se desarrollarán distintos jardines según el uso que se les vaya a dar, proponiendo entornos más interactivos y funcionales para aquellos espacios donde vaya a haber personas a menudo. Más aún si se trata de espacios públicos en los que puedan llevarse a cabo actividades de tipo educativo o social.

6.1 Niveles de digitalización

En este apartado se van a presentar las distintas posibilidades que se ofertarán para la digitalización de los jardines. Se parte del convencimiento de que disponer de un sistema de riego automático es condición indispensable para el diseño de cualquier jardín vertical o cubierta verde; pero más allá de eso se ofrecen soluciones más complejas para mejorar el mantenimiento, el uso eficiente del agua y el control sobre el jardín. Con esa idea en mente se plantean las siguientes opciones:

1. Para presupuestos reducidos se opta por ofrecer el sistema de interrupción por lluvia DD-6312 Mini-Clik de HUNTER, utilizado en los ensayos del Canal de Isabel II. Este sensor tiene un precio de 48,91 € (coste de instalación aparte), y una vida útil de 10 años. En las condiciones de Madrid, donde se llevó a cabo el ensayo, permitía, para un espacio de 500 m², un ahorro de 26 m³ y 54 € anuales, cantidades que, en ubicaciones con lluvias más frecuentes, podrían aumentarse.



Imagen 30: Sistema DD-6312 Mini-Clik de HUNTER de interrupción del riego. Fuente: Amazon

2. Para presupuestos intermedios se optará por el sistema de control de riego ModelGreen del programa Irrimanlife. Este sistema, que se debe solicitar a medida para el jardín, ofrece también un control del abono mediante la medición de la concentración de nutrientes en el entorno de las raíces; y en los ensayos realizados ha presentado los siguientes resultados:
 - a. Ahorro de un 30% de agua.
 - b. Reducción de un 30% del consumo de energía por parte del sistema de riego.
 - c. Disminución de la fertilización química en un 30%, reduciendo la contaminación de las aguas.
 - d. Reducción de las emisiones de CO₂ asociadas en un 40%.

Supone una inversión más elevada, que, por lo visto en el mercado, se puede estimar en 150 €/ 50 m² de jardín; pero también ofrece unos niveles de ahorro que permiten un mayor retorno de la inversión y, con la normativa actual, pueden servir para evitar multas por contaminación excesiva.



Imagen 31: Nutrientes controlables mediante el sistema Model Green. Fuente: Model Green

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

3. Para proyectos de gran presupuesto se incorporarían 2 sistemas que ofrecen un nivel de control y seguimiento superior. En primer lugar, el Smart Biosystem: desarrollado por la Universidad de Cádiz, y utilizado por la empresa Paisajismo Urbano, que ha construido algunos de los jardines verticales más grandes del mundo. Es un sistema de código abierto, pero con un coste más elevado por los materiales, ya que apuesta por un hardware robusto y un diseño modular que permite escalarlo a cualquier jardín. Incluye sensores de humedad, y temperatura, estación meteorológica, capacidad de control del tiempo de riego, caudalímetro y administración de abono; y ha demostrado grandes resultados en jardines urbanos:
 - a. Ahorro de agua de hasta el 60%.
 - b. Reducción del consumo energético de un 40%.

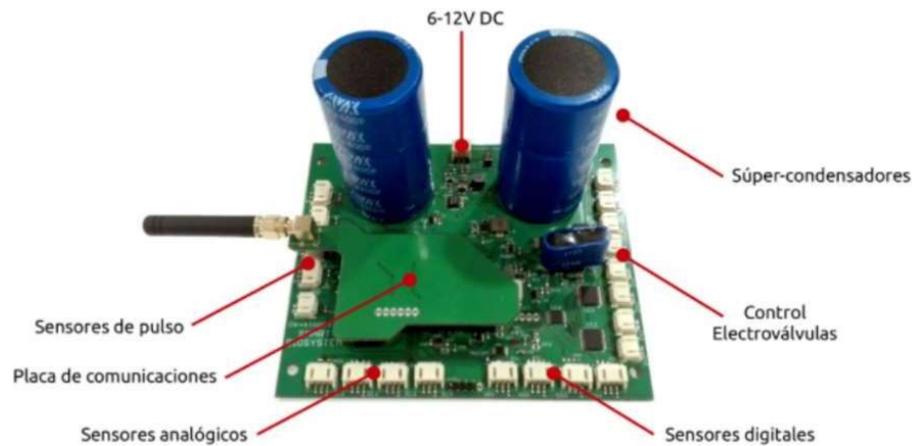


Imagen 32: Placa Multifunción del sistema Smart Biosystem. Fuente: Smart Biosystem

El otro elemento de digitalización a incluir será el sistema QR de control de plantas desarrollado por Agromillora, con el que se pretende tener una trazabilidad de las plantas y un registro de su evolución y sus posibles enfermedades. A través de este sistema no sólo se ofrecerá un mejor servicio al cliente que lo contrate, sino que se podrá construir una plataforma con todos los registros para identificar las especies con un mejor funcionamiento en cada ubicación y así ofrecer el servicio de más calidad a todo cliente en el futuro. Por esa razón, se plantea ajustar mucho el precio, sin apenas buscar beneficios en su comercialización. Para su uso sería interesante plantear una colaboración con la empresa en cuestión.

4. En cubiertas accesibles, se ofrecerá el uso del programa PlantNet, para que los usuarios dispongan de información sobre las plantas y árboles y se puedan desarrollar actividades relacionadas. Este programa es gratuito y accesible en Google Play; el coste se reduciría a incluir carteles informativos y diseñar alguna zona menos cubierta de vegetación para llevar a cabo esas actividades.

A continuación, se muestra una tabla en que se recogen los distintos sistemas que se han estudiado y sus costes, al menos para aquellos sistemas de los que se conocen.

Opción de digitalización	Sistemas incluidos	Costes
1	Sistema DD-6312 Mini-Clik de HUNTER de interrupción del riego	48,91 €, válido para 500 m2
2	Sistema de control del riego ModelGreen	150 €/50 m2
3	Smart Biosystem Códigos QR de Agromillora	No se ha recibido respuesta de la petición de presupuesto
4	PlantNet	Gratuito

Tabla 27: Costes de los sistemas de digitalización. Elaboración propia

6.2 Diferenciación por zonas climáticas

En este capítulo se irán definiendo alternativas de diseño para cada una de las 5 zonas climáticas identificadas en España, siempre en función de los criterios ya explicados. A continuación, se incluyen el mapa de España por zonas climáticas, para disponer de una referencia que ayude a ubicarlas correctamente, y el mapa de precipitaciones.

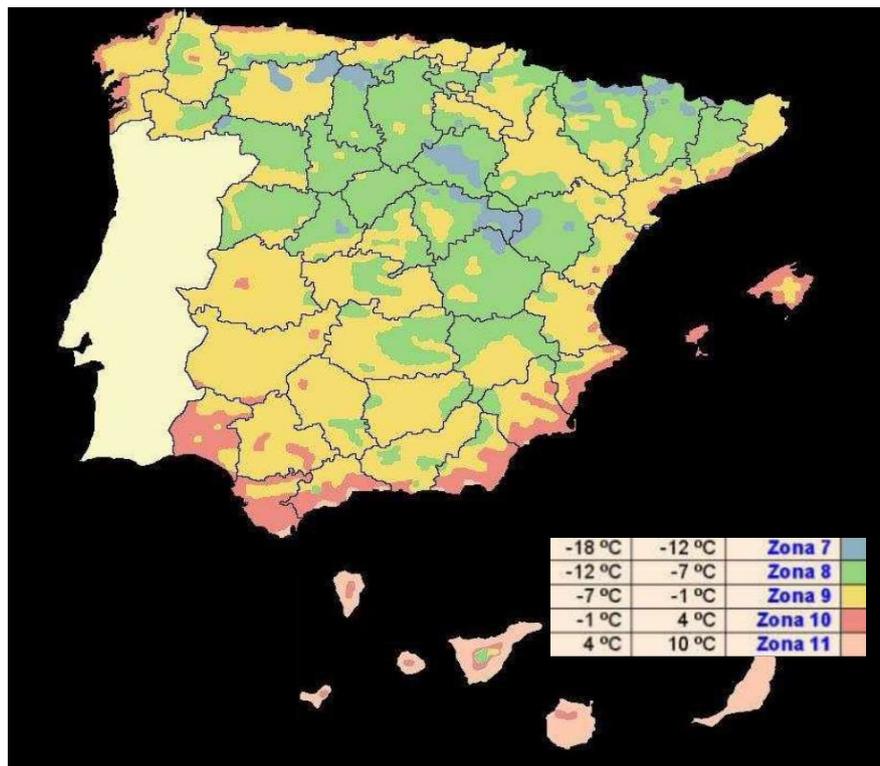


Imagen 33: Mapa de zonas climáticas de España. Fuente: arbolesornamentales.es

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

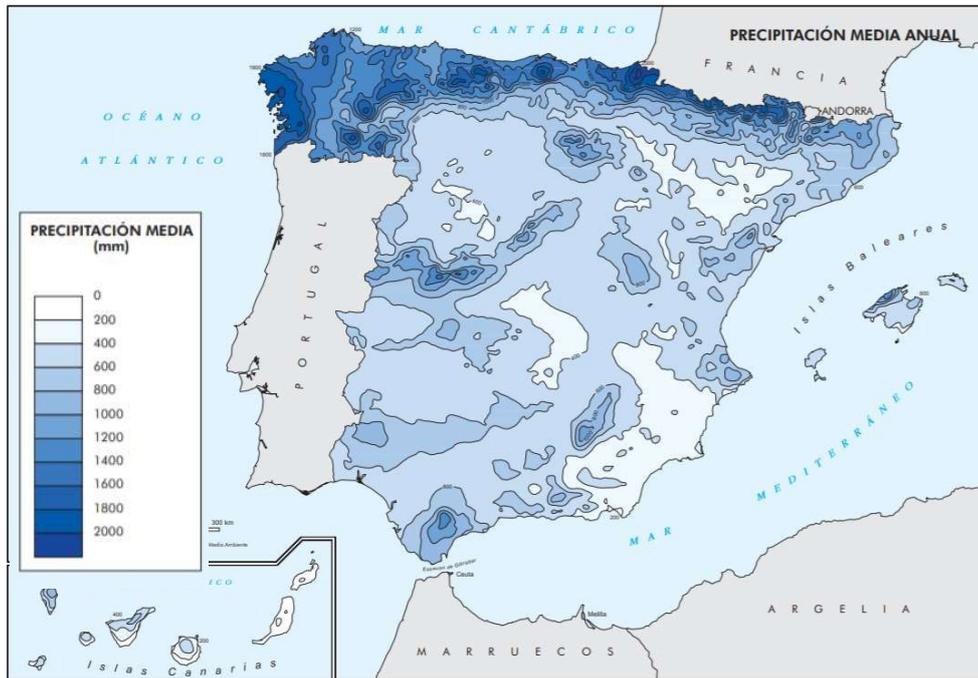


Imagen 34: Mapa de precipitaciones de España. Fuente: arbolesornamentales.es

6.3 Diseños para zona climática 7

Esta zona climática se ubica en el Pirineo oscense, la cara sur de la Cordillera Cantábrica y la zona suroeste del Sistema Ibérico. Como puede verse en el mapa de precipitaciones, se distingue un nivel de precipitaciones alto en la Cordillera Cantábrica y Pirineos, y un nivel medio-bajo en el Sistema Ibérico. Esa será, por tanto, la primera distinción necesaria.

6.3.1 Diseños para ubicaciones con altas precipitaciones en zona climática 7

El primer paso para plantear este diseño es identificar las especies de plantas y árboles que combinan una buena adaptación a temperaturas muy bajas con unas necesidades hídricas medias o altas, pues regar en exceso es tan perjudicial como el riego escaso. Con esos dos criterios se identifican las siguientes especies:

Especies indicadas para ubicaciones de zona climática 7 con altas ppt.		
Árboles y arbustos grandes	Plantas	Plantas trepadoras
<u>Pino carrasco</u>	<u>Sédum acre</u>	<u>Vid del chocolate</u>
Chopo	<u>Sédum álbum</u>	<u>Vid de la fraternidad</u>
<u>Almez</u>	Helecho hembra	<u>Hiedra común</u>
Fresno	<u>Romero</u>	
Espino negro	<u>Lavanda</u>	
Kiri	<u>Hierba de San Juan</u>	
Arce real	Camelia de navidad	
Arce japonés	<u>Cornejo siberiano</u>	
Nogal	<u>Durillo</u>	
Manzano	<u>Aligustre</u>	
Álamo	<u>Cotoneaster</u>	
	Fotinia	

Tabla 28: especies indicadas para jardines en zona climática 7 con altas precipitaciones. Elaboración propia

Las especies de esta tabla que están subrayadas son aquellas que, por sus necesidades hídricas, es probable que puedan evolucionar correctamente sin necesidad de riego, lo que es un aspecto muy interesante de cara a crear jardines con el menor impacto ambiental posible y baja necesidad de mantenimiento.

El primer factor que se va a definir para establecer el diseño de estos jardines es la necesidad de aprovechar el agua de lluvia. En el caso presente, al disponer de muchas precipitaciones que, además, serán regulares en el tiempo por la cercanía a las montañas, se decide no utilizar sistemas con gran capacidad para almacenamiento de agua, ya que supondría un peso excesivo que puede aprovecharse mejor con una mayor carga de vegetación.

Habiendo establecido estos criterios generales para todos los diseños a utilizar en estas condiciones, se pasa a identificar variantes en función de las condiciones del edificio que vaya a acoger los jardines, y el presupuesto de que disponga el cliente.

Diseño según condiciones del edificio

En este ámbito se distinguirán tres posibilidades:

1. Edificio de nueva construcción cuya estructura puede construirse para soportar grandes cargas: 400 – 500 kg/m².
2. Edificios de construcción firme y/o moderna con capacidad de 100 kg/m² de sobrecarga.
3. Edificios antiguos o en peor estado de conservación que no deben sobrepasar los 50 kg/m².

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

La primera posibilidad implicará la instalación de una cubierta y una fachada verde intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una alta densidad de vegetación (30 plantas pequeñas por m²), el uso de árboles de tamaño medio-grande para tener un mayor impacto en la calidad del aire, y se incluirá un sistema de tamaño medio de almacenamiento de aguas pluviales: el Drainroof H6, con el fin de reducir al máximo la necesidad de riego.

En el segundo caso se diseñará una cubierta y una fachada verde extensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una densidad alta-media de vegetación, y se incluirá un sistema pequeño de almacenamiento de aguas pluviales como el Drainroof H2'5, para reducir en cierta medida la necesidad de riego.

En el tercer caso se dispondrá una cubierta y una fachada verde extensiva, que no serán accesibles, pues supondría un riesgo. Para poder tener la mayor densidad posible de vegetación se prescindirá de los sistemas de recogida de agua.

Diseño según capacidad de inversión del cliente

La capacidad de inversión del cliente definirá tres cuestiones que pueden mejorar en gran medida el funcionamiento del jardín:

- Nivel de digitalización del jardín, cuyas posibilidades se han explicado en el primer punto de este capítulo.
 - Instalación de estructuras horizontales en fachada para la colocación de árboles de hoja caduca que tapen las ventanas en verano, pero no en invierno, con lo que se ayude a la climatización en ambas estaciones.
 - Uso de especies con menor o mayor necesidad de riego.
1. Uso de árboles de hoja caduca frente a las ventanas. Dado el clima continental de esta zona, el disponer de árboles de hoja caduca que no reduzcan la exposición al sol en invierno resulta muy interesante a nivel térmico y de confort. Estos árboles se colocarían en estructuras horizontales ubicadas bajo las ventanas, ya que son las zonas del muro con mayor transmisión de la radiación solar. Conllevan un coste considerable por la necesidad de obra, y sólo son viables en fachadas con capacidad de carga media o alta, previo estudio de cargas.
 2. Elección de especies según necesidad de riego:
 - Para las cubiertas intensivas se utilizarán, en cualquier caso, el pino carrasco y el almez, por ser las especies aptas con mayor captación de CO₂, y unas necesidades hídricas bajas. Dichos árboles se complementarán con las especies que se indiquen para las cubiertas extensivas.

- En las cubiertas semi-intensivas se emplearán aligustre y cotoneaster por su gran espesura (que mejora el aislamiento) y su baja necesidad hídrica, y la lavanda por su buen olor, color y bajo consumo de agua. Si se dispone de más capacidad de riego, se dispondrán helechos hembra y fotinia, que ofrecen, respectivamente, muy buena captación de CO2 y buen aislamiento. En cambio, si hay que ajustar más los consumos de agua se optará por el romero y la hierba de san juan, que mejoran mucho el aspecto del jardín y tienen menor necesidad de riego.
- En las cubiertas extensivas se incluirán las mismas plantas que en las intensivas excepto los arbustos de gran tamaño, como el aligustre y la fotinia. Y se dispondrán las especies con una menor densidad.
- En las fachadas se emplearán las especies recomendadas para las cubiertas extensivas y se añadirán dos opciones:
 - El almez como árbol de hoja caduca en las estructuras horizontales bajo las ventanas.
 - Si hay necesidad de reducir los consumos de agua se emplearán la hiedra común y la vid del chocolate en lugar de las especies con mayor consumo de agua como los helechos. Estas especies exigen de un mayor mantenimiento, pues pueden ser invasivas par el resto de las plantas del jardín; pero ofrecen un crecimiento muy rápido con poca necesidad de agua.

6.3.2 Diseños para ubicaciones con bajas precipitaciones en zona climática 7

El primer paso para plantear este diseño es identificar las especies de plantas y árboles que combinan una buena adaptación a temperaturas muy bajas con unas necesidades hídricas medias. Con esos dos criterios se identifican las siguientes especies:

Especies indicadas para ubicaciones de zona climática 7 con ppt. medias		
Árboles y arbustos grandes	Plantas	Plantas trepadoras
<u>Pino carrasco</u>	<u>Sédum acre</u>	<u>Vid del chocolate</u>
<u>Almez</u>	<u>Sédum álbum</u>	<u>Vid de la fraternidad</u>
Manzano	<u>Romero</u>	<u>Hiedra común</u>
	<u>Lavanda</u>	
	Hierba de San Juan	
	<u>Cornejo siberiano</u>	
	<u>Durillo</u>	
	Aligustre	
	Cotoneaster	

Tabla 29: especies indicadas para jardines en zona climática 7 con precipitaciones medias. Elaboración propia

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Las especies subrayadas en la tabla anterior son aquellas que, por sus necesidades hídricas, es probable que puedan evolucionar correctamente sin necesidad de riego, lo que resulta muy interesante de cara a crear jardines con el menor impacto ambiental posible.

El primer factor que se va a definir para establecer el diseño de estos jardines es la necesidad de aprovechar el agua de lluvia. Al disponer de precipitaciones medias, que serán regulares en el tiempo por la cercanía a las montañas, se decide no utilizar sistemas con gran capacidad de almacenamiento de agua, ya que supondría un peso excesivo que puede aprovecharse mejor con una mayor carga de vegetación.

Habiendo establecido estos criterios generales para todos los diseños a utilizar en estas condiciones, se pasa a identificar variantes en función de las condiciones del edificio que vaya a acoger los jardines, y el presupuesto de que disponga el cliente.

Diseño según condiciones del edificio

En este ámbito se distinguirán tres posibilidades:

1. Edificio de nueva construcción cuya estructura puede construirse para soportar grandes cargas: 400 – 500 kg/m².
2. Edificios de construcción firme y/o moderna con capacidad de 100 kg/m² de sobrecarga.
3. Edificios antiguos o en peor estado de conservación que no deben sobrepasar los 50 kg/m².

La primera posibilidad implicará la instalación de una cubierta y una fachada verde intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una alta densidad de vegetación (30 plantas pequeñas por m²), el uso de árboles de tamaño medio-grande para tener un mayor impacto en la calidad del aire, y se incluirá el sistema con mayor capacidad de almacenamiento de aguas pluviales: el RS Zinco 60, con el fin de reducir al máximo la necesidad de riego.

En el segundo caso se diseñará una cubierta y una fachada verde extensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una densidad alta-media de vegetación, y se incluirá un sistema medio de almacenamiento de aguas pluviales como el Drainroof H6, para reducir en cierta medida la necesidad de riego.

En el tercer caso se dispondrá una cubierta y una fachada verde extensiva, que no serán accesibles, pues supondría un riesgo. Para poder tener la mayor densidad posible de vegetación se prescindirá de los sistemas de recogida de agua.

Diseño según capacidad de inversión del cliente

La capacidad de inversión del cliente definirá tres cuestiones que pueden mejorar en gran medida el funcionamiento del jardín:

- Nivel de digitalización del jardín, cuyas posibilidades se han explicado en el primer punto de este capítulo.
 - Instalación de estructuras horizontales en fachada para la colocación de árboles de hoja caduca que tapen las ventanas en verano, pero no en invierno.
 - Uso de especies con menor o mayor necesidad de riego.
1. Uso de árboles de hoja caduca frente a las ventanas. Dado el clima continental de esta zona, el disponer de árboles de hoja caduca que no reduzcan la exposición al sol en invierno resulta muy interesante a nivel térmico y de confort. Estos árboles se colocarían en estructuras horizontales ubicadas bajo las ventanas, ya que son las zonas del muro con mayor transmisión de la radiación solar. Conllevan un coste considerable por la necesidad de obra, y sólo son viables en fachadas con capacidad de carga media o alta, previo estudio de cargas.
 2. Elección de especies según necesidad de riego:
 - Para las cubiertas intensivas se utilizarán, en cualquier caso, el pino carrasco y el almez, por ser las especies aptas con mayor captación de CO₂, y unas necesidades hídricas bajas. Dichos árboles se complementarán con las especies que se indiquen para las cubiertas extensivas.
 - En las cubiertas semi-intensivas se emplearán aligustre y cotoneaster por su gran espesura (que mejora el aislamiento) y su baja necesidad hídrica, y la lavanda por su buen olor, color y bajo consumo de agua. Si se dispone de más capacidad de riego, se dispondrán helechos hembra y fotinia, que ofrecen, respectivamente, muy buena captación de CO₂ y buen aislamiento. En cambio, si hay que ajustar más los consumos de agua se optará por el romero y la hierba de san juan, que mejoran mucho el aspecto del jardín y tienen menor necesidad de riego.
 - En las cubiertas extensivas se incluirán las mismas plantas que en las intensivas excepto los arbustos de gran tamaño, como el aligustre y la fotinia. Y se dispondrán las especies con una menor densidad.
 - En las fachadas se emplearán las especies recomendadas para las cubiertas extensivas y se añadirán dos opciones:
 - El almez como árbol de hoja caduca en las estructuras horizontales bajo las ventanas.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- Si hay necesidad de reducir los consumos de agua se emplearán la hiedra común y la vid del chocolate en lugar de las especies con mayor consumo de agua como los helechos. Estas especies exigen de un mayor mantenimiento, pues pueden ser invasivas par el resto de las plantas del jardín; pero ofrecen un crecimiento muy rápido con poca necesidad de agua.

6.4 Diseños para zona climática 8

Esta zona climática se encuentra diseminada entre el interior de Cataluña, la provincia de Huesca, la mayor parte del territorio de Castilla y León, y buena parte Castilla-La Mancha. Abarca zonas de precipitaciones medias y bajas, por lo que esa será la primera distinción a realizar.

6.4.1 Diseños para ubicaciones con precipitaciones medias en zona climática 8

El primer paso para plantear este diseño es identificar las especies de plantas y árboles que combinan una buena adaptación a temperaturas bajas en invierno, con unas necesidades hídricas medias o bajas. Con esos dos criterios se identifican las siguientes especies:

Especies indicadas para ubicaciones de zona climática 8 con ppt. medias		
Árboles y arbustos grandes	Plantas	Plantas trepadoras
Pino carrasco	<u>Sédum acre</u>	<u>Vid del chocolate</u>
<u>Pino monterrey</u>	<u>Sédum álbum</u>	<u>Vid de la fraternidad</u>
Almez	<u>Romero</u>	<u>Hiedra común</u>
Acacia	<u>Lavanda</u>	
Melia	Hierba de San Juan	
<u>Olivo</u>	<u>Cornejo siberiano</u>	
	<u>Durillo</u>	
	Aligustre	
	Cotoneaster	

Tabla 30: especies indicadas para jardines en zona climática 8 con precipitaciones medias. Elaboración propia

Las especies de esta tabla que están subrayadas son aquellas que, por sus necesidades hídricas, es probable que puedan evolucionar correctamente sin necesidad de riego, lo que es un aspecto muy interesante de cara a crear jardines con el menor impacto ambiental posible y baja necesidad de mantenimiento.

El primer factor que se va a definir para establecer el diseño de estos jardines es la necesidad de aprovechar el agua de lluvia. En el caso presente, al disponer de pocas que, además, serán irregulares en el tiempo por tratarse de un clima continental, se opta por utilizar sistemas con gran capacidad para almacenamiento de agua, ya que el agua de lluvia no será suficiente y hay una necesidad importante de reducir los consumos de agua.

Habiendo establecido estos criterios generales para todos los diseños a utilizar en estas condiciones, se pasa a identificar variantes en función de las condiciones del edificio que vaya a acoger los jardines, y el presupuesto de que disponga el cliente.

Diseño según condiciones del edificio

En este ámbito se distinguirán tres posibilidades:

1. Edificio de nueva construcción cuya estructura puede construirse para soportar grandes cargas: 400 – 500 kg/m².
2. Edificios de construcción firme y/o moderna con capacidad de 100 kg/m² de sobrecarga.
3. Edificios antiguos o en peor estado de conservación que no deben sobrepasar los 50 kg/m².

La primera posibilidad implicará la instalación de una cubierta y una fachada verde intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una alta densidad de vegetación (30 plantas pequeñas por m²), el uso de árboles de tamaño medio-grande para tener un mayor impacto en la calidad del aire, y se incluirá un sistema de gran tamaño de almacenamiento de aguas pluviales: el RS60 de Zinco, con el fin de reducir al máximo la necesidad de riego.

En el segundo caso se diseñará una cubierta y una fachada verde semi-intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una densidad alta-media de vegetación, y se incluirá un sistema mediano de almacenamiento de aguas pluviales como el Drainroof H6, para reducir en cierta medida la necesidad de riego.

En el tercer caso se dispondrá una cubierta y una fachada verde extensiva, que no serán accesibles, pues supondría un riesgo. Para poder tener la mayor densidad posible de vegetación se prescindirá de los sistemas de recogida de agua.

Diseño según capacidad de inversión del cliente

La capacidad de inversión del cliente definirá tres cuestiones que pueden mejorar en gran medida el funcionamiento del jardín:

- Nivel de digitalización del jardín, cuyas posibilidades se han explicado en el primer punto de este capítulo.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- Instalación de estructuras horizontales en fachada para la colocación de árboles de hoja caduca que tapen las ventanas en verano, pero no en invierno.
 - Uso de especies con menor o mayor necesidad de riego.
1. Uso de árboles de hoja caduca frente a las ventanas. Dado el clima continental de esta zona, el disponer de árboles de hoja caduca que no reduzcan la exposición al sol en invierno resulta muy interesante a nivel térmico y de confort. Estos árboles se colocarían en estructuras horizontales ubicadas bajo las ventanas, ya que son las zonas del muro con mayor transmisión de la radiación solar. Conllevan un coste considerable por la necesidad de obra, y sólo son viables en fachadas con capacidad de carga media o alta, previo estudio de cargas.
 2. Elección de especies según necesidad de riego:
 - Para las cubiertas intensivas se utilizarán, en cualquier caso, el pino monterrey y el olivo, por ser especies aptas para la zona, con gran captación de CO₂, y unas necesidades hídricas bajas; por lo que podrían desarrollarse correctamente sin necesidad de riego adicional. Además, si se dispone de más agua para el cuidado del jardín, se incluirán ejemplares del pino carrasco, que ofrece una mayor capacidad de captación de CO₂. Estos árboles se complementarán con las especies que se indiquen para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, que en esta cubierta se dispondrán en una densidad muy alta.
 - En las cubiertas semi-intensivas se emplearán aligustre y cotoneaster por su gran espesura (que mejora el aislamiento) y su baja necesidad hídrica, y la lavanda por su buen olor, color y bajo consumo de agua. Si se dispone de más capacidad de riego, se dispondrán helechos hembra y fotinia, que ofrecen, respectivamente, muy buena captación de CO₂ y buen aislamiento. En cambio, si hay que ajustar más los consumos de agua se optará por el romero y la hierba de san juan, que mejoran mucho el aspecto del jardín y tienen menor necesidad de riego.
 - En las cubiertas extensivas se incluirán las mismas plantas que en las intensivas excepto los arbustos de gran tamaño, como el aligustre y la fotinia. Y se dispondrán las especies con una menor densidad.
 - En las fachadas se emplearán las especies recomendadas para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, según la capacidad de carga de la fachada y se añadirán dos opciones:
 - La melia como árbol de hoja caduca en las estructuras horizontales bajo las ventanas.

- Si hay necesidad de reducir los consumos de agua se emplearán la hiedra común y la vid del chocolate en lugar de las especies con mayor consumo de agua como los helechos. Estas especies exigen de un mayor mantenimiento, pues pueden ser invasivas para las demás plantas del jardín; pero ofrecen un crecimiento muy rápido con poca necesidad de agua.

6.4.1 Diseños para ubicaciones con bajas precipitaciones en zona climática 8

El primer paso para plantear este diseño es identificar las especies de plantas y árboles que combinan una buena adaptación a temperaturas bajas en invierno con unas necesidades hídricas bajas, Con esos dos criterios se identifican las siguientes especies:

Especies indicadas para ubicaciones de zona climática 8 con ppt. medias		
Árboles y arbustos grandes	Plantas	Plantas trepadoras
<u>Olivo silvestre</u>	<u>Sédum acre</u>	Vid del chocolate
<u>Pino monterrey</u>	<u>Sédum álbum</u>	Vid de la fraternidad
Melia	<u>Romero</u>	Hiedra común
	<u>Lavanda</u>	
	<u>Durillo</u>	

Tabla 31: especies indicadas para jardines en zona climática 8 con precipitaciones escasas. Elaboración propia

Las especies de esta tabla que están subrayadas son aquellas que, por sus necesidades hídricas, es probable que puedan evolucionar correctamente sin necesidad de riego, lo que es un aspecto muy interesante de cara a crear jardines con el menor impacto ambiental posible y baja necesidad de mantenimiento.

El primer factor que se va a definir para establecer el diseño de estos jardines es la necesidad de aprovechar el agua de lluvia. En el caso presente, al disponer de precipitaciones escasas que, además, serán irregulares en el tiempo por tratarse de un clima continental, se opta por utilizar sistemas con gran capacidad para almacenamiento de agua, ya que el agua de lluvia no será suficiente y hay una necesidad importante de reducir los consumos de agua. Se utilizarán estos sistemas incluso para las cubiertas extensivas.

Habiendo establecido estos criterios generales para todos los diseños a utilizar en estas condiciones, se pasa a identificar variantes en función de las condiciones del edificio que vaya a acoger los jardines, y el presupuesto de que disponga el cliente.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Diseño según condiciones del edificio

En este ámbito se distinguirán tres posibilidades:

1. Edificio de nueva construcción cuya estructura puede construirse para soportar grandes cargas: 400 – 500 kg/m².
2. Edificios de construcción firme y/o moderna con capacidad de 100 kg/m² de sobrecarga.
3. Edificios antiguos o en peor estado de conservación que no deben sobrepasar los 50 kg/m².

La primera posibilidad implicará la instalación de una cubierta y una fachada verde intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una alta densidad de vegetación (30 plantas pequeñas por m²), el uso de árboles de tamaño medio-grande para tener un mayor impacto en la calidad del aire, y se incluirá un sistema de gran tamaño de almacenamiento de aguas pluviales: el RS60 de Zinco, con el fin de reducir al máximo la necesidad de riego.

En el segundo caso se diseñará una cubierta y una fachada verde semi-intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una densidad alta-media de vegetación, y se incluirá un sistema mediano de almacenamiento de aguas pluviales como el Drainroof H6, para reducir en cierta medida la necesidad de riego.

En el tercer caso se dispondrá utilizará el sistema Garoé de Singular Green, que permite desarrollar cubiertas autosuficientes, sin necesidad de riego artificial.

Diseño según capacidad de inversión del cliente

La capacidad de inversión del cliente definirá tres cuestiones que pueden mejorar en gran medida el funcionamiento del jardín:

- Nivel de digitalización del jardín, cuyas posibilidades se han explicado en el primer punto de este capítulo.
 - Instalación de estructuras horizontales en fachada para la colocación de árboles de hoja caduca que tapen las ventanas en verano, pero no en invierno.
 - Uso de especies con menor o mayor necesidad de riego.
1. Uso de árboles de hoja caduca frente a las ventanas. Dado el clima continental de esta zona, el disponer de árboles de hoja caduca que no reduzcan la exposición al sol en

invierno resulta muy interesante a nivel térmico y de confort. Estos árboles se colocarían en estructuras horizontales ubicadas bajo las ventanas, ya que son las zonas del muro con mayor transmisión de la radiación solar. Conllevan un coste considerable por la necesidad de obra, y sólo son viables en fachadas con capacidad de carga media o alta, previo estudio de cargas.

2. Elección de especies según necesidad de riego:

- Para las cubiertas intensivas se utilizarán el pino monterrey y el olivo, por ser especies aptas para la zona, con gran captación de CO₂, y unas necesidades hídricas bajas; por lo que podrían desarrollarse correctamente sin necesidad de riego adicional. Estos árboles se complementarán con las especies que se indiquen para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, que en esta cubierta se dispondrán en una densidad muy alta.
- En las cubiertas semi-intensivas se formará una primera capa de sédum álbum, aprovechando su capacidad tapizante. Sobre ella se empleará el durillo por su gran espesura (que mejora el aislamiento) y su baja necesidad hídrica, y la lavanda y el romero por su buen olor, color y bajo consumo de agua.
- En las cubiertas extensivas se ofrecerán dos opciones según el presupuesto disponible:
 - La cubierta Garoé de Singular Green, que consta de un aljibe con el que se almacena el agua de lluvia para nutrir a las plantas que la ocupan, que serán sédum álbum y acre, y romero; todas ellas capaces de subsistir con muy poco aporte de agua.
 - El sistema de TopGrass de placas de Sédum con un sistema modular de aprovechamiento de agua, que habrá que regular para no sobrepasar la capacidad de carga de la fachada. Este sistema apenas requiere de obra, por lo que es mucho más económico.
- En las fachadas se emplearán las especies recomendadas para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, según la capacidad de carga de la fachada y se añadirán dos opciones:
 - La melia como árbol de hoja caduca en las estructuras horizontales bajo las ventanas.
 - Si hay necesidad de reducir los consumos de agua se emplearán la hiedra común y la vid del chocolate en lugar de las especies con mayor consumo de agua como los helechos. Estas especies exigen de un mayor mantenimiento, pues pueden ser invasivas para las demás plantas del jardín; pero ofrecen un crecimiento muy rápido con poca necesidad de agua.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

6.5 Diseños para zona climática 9

Esta zona climática es la más habitual en la España, pues se puede encontrar en todas las comunidades de la península, así como en el interior de Mallorca. Por ese motivo se realizarán tres diseños distintos, según sean zonas de lluvias frecuentes, intermedias o escasas.

6.5.1 Diseños para ubicaciones con precipitaciones abundantes en zona climática 9

El primer paso para plantear este diseño es identificar las especies de plantas y árboles que combinan una buena adaptación a temperaturas medias-bajas en invierno, con unas necesidades hídricas medias-altas, pues regar en exceso es tan perjudicial como el riego escaso. Con esos dos criterios se identifican las siguientes especies:

Especies indicadas para ubicaciones de zona climática 9 con ppt. abundantes		
Árboles y arbustos grandes	Plantas	Plantas trepadoras
Eucalipto	Helechos	Trompeta amarilla
<u>Chopo</u>	Camelia de Navidad	Trepadora del coral
<u>Pino carrasco</u>	<u>Fotinia</u>	Asarina
<u>Fresno</u>	<u>Gramíneas</u>	Michay rojo
Kiri	<u>Hierba de San Juan</u>	<u>Hiedra común</u>
Acacia	<u>Aptenia</u>	
<u>Arce real</u>		

Tabla 32: especies indicadas para jardines en zona climática 8 con precipitaciones abundantes. Elaboración propia

Las especies de esta tabla que están subrayadas son aquellas que, por sus necesidades hídricas, es probable que puedan evolucionar correctamente sin necesidad de riego, lo que es un aspecto muy interesante de cara a crear jardines con el menor impacto ambiental posible y baja necesidad de mantenimiento.

El primer factor que se va a definir para establecer el diseño de estos jardines es la necesidad de aprovechar el agua de lluvia. En el caso presente, al disponer de precipitaciones abundantes se opta por no utilizar sistemas con gran capacidad para almacenamiento de agua, ya que supondría un peso excesivo que puede aprovecharse mejor con una mayor carga de vegetación.

Habiendo establecido estos criterios generales para todos los diseños a utilizar en estas condiciones, se pasa a identificar variantes en función de las condiciones del edificio que vaya a acoger los jardines, y el presupuesto de que disponga el cliente.

Diseño según condiciones del edificio

En este ámbito se distinguirán tres posibilidades:

1. Edificio de nueva construcción cuya estructura puede construirse para soportar grandes cargas: 400 – 500 kg/m².
2. Edificios de construcción firme y/o moderna con capacidad de 100 kg/m² de sobrecarga.
3. Edificios antiguos o en peor estado de conservación que no deben sobrepasar los 50 kg/m².

La primera posibilidad implicará la instalación de una cubierta y una fachada verde intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una alta densidad de vegetación (30 plantas pequeñas por m²), el uso de árboles de tamaño medio-grande para tener un mayor impacto en la calidad del aire, y se incluirá un sistema mediano de almacenamiento de aguas pluviales: el Drainroof H6 de Zinco, con el fin de reducir de manera considerable la necesidad de riego.

En el segundo caso se diseñará una cubierta y una fachada semi-intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una densidad alta-media de vegetación, y se incluirá un sistema pequeña de almacenamiento de aguas pluviales como el Drainroof H 2,5, para reducir en cierta medida la necesidad de riego.

En el tercer caso se dispondrá una cubierta y una fachada verde extensiva, que no serán accesibles, pues supondría un riesgo. Para poder tener la mayor densidad posible de vegetación se prescindirá de los sistemas de recogida de agua.

Diseño según capacidad de inversión del cliente

La capacidad de inversión del cliente definirá dos cuestiones que pueden mejorar en gran medida el funcionamiento del jardín:

- Nivel de digitalización del jardín, cuyas posibilidades se han explicado en el primer punto de este capítulo.
- Uso de especies con menor o mayor necesidad de riego.

Elección de especies según necesidad de riego:

- Para las cubiertas intensivas se utilizarán el pino carrasco y el kiri por ser especies aptas para la zona, con gran captación de CO₂, y unas necesidades hídricas bajas; por lo que podrían desarrollarse correctamente sin necesidad de riego adicional. También podrían incluirse eucaliptos que, aunque necesitan más riego, presentan una gran captación de CO₂ y un crecimiento rápido. Estos árboles se complementarán con las especies que se indiquen para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, que en esta cubierta se dispondrán en una mayor densidad.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- En las cubiertas semi-intensivas se utilizarán la fotinia y la aptenia por su espesura, que ofrece un muy buen aislamiento, y su poca necesidad de riego; y la hierba de san juan por su color decorativo y su bajo consumo de agua. Si se plantea disponer de riego adicional se incluirán helechos, que tienen una gran absorción de CO₂.
- En las cubiertas extensivas se dispondrá la misma vegetación que en las intensivas, a excepción de la fotinia que tiene demasiado peso, pero con una densidad menor.
- En las fachadas se emplearán las especies recomendadas para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, según la capacidad de carga de la fachada. Si hay necesidad de reducir los consumos de agua se empleará la hiedra común en lugar de las especies con mayor consumo de agua, como los helechos, y la trepadora del coral, que si bien tiene mayor necesidad de agua que la hiedra resulta muy colorida y también presenta consumos menores que la mayoría de las plantas. Estas especies exigen de un mayor mantenimiento, pues pueden ser invasivas para las demás plantas del jardín; pero ofrecen un crecimiento muy rápido con poca necesidad de agua.

6.5.2 Diseños para ubicaciones con precipitaciones medias en zona climática 9

El primer paso para plantear este diseño es identificar las especies de plantas y árboles que combinan una buena adaptación a temperaturas medias-bajas en invierno, con unas necesidades hídricas medias-bajas. Con esos dos criterios se identifican las siguientes especies:

Especies indicadas para ubicaciones de zona climática 9 con ppt. medias		
Árboles y arbustos grandes	Plantas	Plantas trepadoras
<u>Pino carrasco</u>	<u>Sédum acre</u>	Vid de la fraternidad
Almez	<u>Sédum álbum</u>	Vid del chocolate
<u>Algarrobo</u>	<u>Romero</u>	Enredadera del mosquito
Kiri	<u>Lavanda</u>	Michay rojo
<u>Adelfa</u>	Escobillón rojo	<u>Hiedra común</u>
Melia	<u>Aligustre</u>	
	Durillo	

Tabla 33: especies indicadas para jardines en zona climática 9 con precipitaciones medias. Elaboración propia

Las especies de esta tabla que están subrayadas son aquellas que, por sus necesidades hídricas, es probable que puedan evolucionar correctamente sin necesidad de riego, lo que es un aspecto muy interesante de cara a crear jardines con el menor impacto ambiental posible y baja necesidad de mantenimiento.

El primer factor que se va a definir para establecer el diseño de estos jardines es la necesidad de aprovechar el agua de lluvia. En el caso presente, al disponer de precipitaciones medias se opta por no utilizar sistemas con gran capacidad para almacenamiento de agua, ya que supondría un peso excesivo que puede aprovecharse mejor con una mayor carga de vegetación.

Habiendo establecido estos criterios generales para todos los diseños a utilizar en estas condiciones, se pasa a identificar variantes en función de las condiciones del edificio que vaya a acoger los jardines, y el presupuesto de que disponga el cliente.

Diseño según condiciones del edificio

En este ámbito se distinguirán tres posibilidades:

1. Edificio de nueva construcción cuya estructura puede construirse para soportar grandes cargas: 400 – 500 kg/m².
2. Edificios de construcción firme y/o moderna con capacidad de 100 kg/m² de sobrecarga.
3. Edificios antiguos o en peor estado de conservación que no deben sobrepasar los 50 kg/m².

La primera posibilidad implicará la instalación de una cubierta y una fachada verde intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una alta densidad de vegetación (30 plantas pequeñas por m²), el uso de árboles de tamaño medio-grande para tener un mayor impacto en la calidad del aire, y se incluirá un sistema mediano de almacenamiento de aguas pluviales: el Drainroof H6 de Zinco, con el fin de reducir de manera considerable la necesidad de riego.

En el segundo caso se diseñará una cubierta y una fachada verde semi-intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una densidad alta-media de vegetación, y se incluirá un sistema pequeña de almacenamiento de aguas pluviales como el Drainroof H 2,5, para reducir en cierta medida la necesidad de riego.

En el tercer caso se dispondrá una cubierta y una fachada verde extensiva, que no serán accesibles, pues supondría un riesgo. Para poder tener la mayor densidad posible de vegetación se prescindirá de los sistemas de recogida de agua.

Diseño según capacidad de inversión del cliente

La capacidad de inversión del cliente definirá dos cuestiones que pueden mejorar en gran medida el funcionamiento del jardín:

- Nivel de digitalización del jardín, cuyas posibilidades se han explicado en el primer punto de este capítulo.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- Uso de especies con menor o mayor necesidad de riego.

Elección de especies según necesidad de riego:

- Para las cubiertas intensivas se utilizarán el pino carrasco y el alcornoque por ser especies aptas para la zona, con gran captación de CO₂, y unas necesidades hídricas bajas; por lo que podrían desarrollarse correctamente sin necesidad de riego adicional. También podrían incluirse el árbol kiri que, aunque necesita más riego, tienen una muy buena captación de CO₂ y es muy decorativo. Estos árboles se complementarán con las especies que se indiquen para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, que en esta cubierta se dispondrán en una mayor densidad.
- En las cubiertas semi-intensivas se utilizarán el aligustre y, el durillo por su espesura, que ofrece un muy buen aislamiento, y su poca necesidad de riego; y la lavanda por su color, aroma y poco consumo de agua. Si se plantea disponer de riego adicional se incluirán escobillones rojos, que también alcanzan una buena densidad y son muy decorativos
- En las cubiertas extensivas se dispondrá la misma vegetación que en las intensivas, a excepción del aligustre que tiene demasiado peso, pero se dispondrán con una densidad menor.
- En las fachadas se emplearán las especies recomendadas para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, según la capacidad de carga de la fachada. Si hay necesidad de reducir los consumos de agua se empleará la hiedra común y la enredadera del mosquito en lugar de las especies con mayor consumo de agua, como los escobillones rojos, Estas especies exigen de un mayor mantenimiento, pues pueden ser invasivas para las demás plantas del jardín; pero ofrecen un crecimiento muy rápido con poca necesidad de agua.

6.5.3 Diseños para ubicaciones con precipitaciones escasas en zona climática 9

El primer paso para plantear este diseño es identificar las especies de plantas y árboles que combinan una buena adaptación a temperaturas medias-bajas en invierno, con unas necesidades hídricas bajas. Con esos dos criterios se identifican las siguientes especies:

Especies indicadas para ubicaciones de zona climática 9 con ppt. escasas		
Árboles y arbustos grandes	Plantas	Plantas trepadoras
Pino carrasco	<u>Sédum acre</u>	Vid de la fraternidad
Almez	Sédum álbum	Vid del chocolate
<u>Alcornoque</u>	<u>Romero</u>	Enredadera del mosquito
<u>Olivo</u>	Lavanda	<u>Hiedra común</u>
Adelfa	Aligustre	
Algarrobo	<u>Durillo</u>	

Tabla 34: especies indicadas para jardines en zona climática 9 con precipitaciones escasas. Elaboración propia

Las especies de esta tabla que están subrayadas son aquellas que, por sus necesidades hídricas, es probable que puedan evolucionar correctamente sin necesidad de riego, lo que es un aspecto muy interesante de cara a crear jardines con el menor impacto ambiental posible y baja necesidad de mantenimiento.

El primer factor que se va a definir para establecer el diseño de estos jardines es la necesidad de aprovechar el agua de lluvia. En el caso presente, al disponer de precipitaciones escasas se emplearán sistemas con gran capacidad para almacenamiento de agua, ya que supondría un peso excesivo que puede aprovecharse mejor con una mayor carga de vegetación.

Habiendo establecido estos criterios generales para todos los diseños a utilizar en estas condiciones, se pasa a identificar variantes en función de las condiciones del edificio que vaya a acoger los jardines, y el presupuesto de que disponga el cliente.

Diseño según condiciones del edificio

En este ámbito se distinguirán tres posibilidades:

1. Edificio de nueva construcción cuya estructura puede soportar grandes cargas: 400 – 500 kg/m².
2. Edificios de construcción firme y/o moderna con capacidad de 100 kg/m² de sobrecarga.
3. Edificios antiguos o en peor estado de conservación que no deben sobrepasar los 50 kg/m².

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

La primera posibilidad implicará la instalación de una cubierta y una fachada verde intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una alta densidad de vegetación (30 plantas pequeñas por m²), el uso de árboles de tamaño medio-grande para tener un mayor impacto en la calidad del aire, y se incluirá un sistema con gran capacidad de almacenamiento de aguas pluviales: el RS60 Zinco, con el fin de reducir de manera considerable la necesidad de riego.

En el segundo caso se diseñará una cubierta y una fachada verde semi-intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una densidad alta-media de vegetación, y se incluirá un sistema mediano de almacenamiento de aguas pluviales como el Drainroof H 2,5, para reducir en cierta medida la necesidad de riego.

En el tercer caso se dispondrá utilizará el sistema Garoé de Singular Green, que permite desarrollar cubiertas autosuficientes, sin necesidad de riego artificial; o, si no se dispone de tanto presupuesto, el sistema de planchas de Sédum TopGrass con depósito de agua incorporado

Diseño según capacidad de inversión del cliente

La capacidad de inversión del cliente definirá dos cuestiones que pueden mejorar en gran medida el funcionamiento del jardín:

1. Nivel de digitalización del jardín, cuyas posibilidades se han explicado en el primer punto de este capítulo.
2. Elección de especies según necesidad de riego:
 - Para las cubiertas intensivas se utilizarán el olivo y el alcornoque por ser especies aptas para la zona, con gran captación de CO₂, y unas necesidades hídricas bajas; por lo que podrían desarrollarse sin necesidad de riego adicional. También podrían incluirse el pino carrasco que, aunque necesita más riego, tienen una muy buena captación de CO₂ y es muy decorativo. Estos árboles se complementarán con las especies que se indiquen para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, que en esta cubierta se dispondrán en una densidad muy alta.
 - En las cubiertas semi-intensivas se utilizarán el durillo por su espesura, que ofrece un muy buen aislamiento, y su poca necesidad de riego; y el romero por su aroma y poco consumo de agua. Si se plantea disponer de riego adicional se incluirá al aligustre, que con su espesura ofrece un gran aislamiento; y la lavanda, que tiene un gran valor decorativo con su color y olor.

- En las cubiertas extensivas se ofrecerán dos opciones según presupuesto:
 - La cubierta Garoé de Singular Green, que consta de un aljibe con el que se almacena el agua de lluvia para nutrir a las plantas que la ocupan, que serán sédum álbum y acre, y romero; todas ellas capaces de subsistir con muy poco aporte de agua.
 - El sistema de TopGrass de placas de Sédum con un sistema modular de aprovechamiento de agua, que habrá que regular para no sobrepasar la capacidad de carga de la fachada. Este sistema apenas requiere de obra, por lo que es mucho más económico.
- En las fachadas se emplearán las especies recomendadas para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, según la capacidad de carga de la fachada. Si hay necesidad de reducir los consumos de agua se empleará la hiedra común y la enredadera del mosquito en lugar de las especies con mayor consumo de agua, como la lavanda. Estas especies exigen de un mayor mantenimiento, pues pueden ser invasivas para las demás plantas del jardín; pero ofrecen un crecimiento muy rápido con poca necesidad de agua.

6.6 Diseños para zona climática 10

Esta zona climática se encuentra fundamentalmente en la costa mediterránea, y en la zona atlántica de Andalucía; con lo que se tienen espacios de precipitaciones medias o escasas.

6.6.1 Diseños para ubicaciones con precipitaciones medias en zona climática 10

El primer paso para plantear este diseño es identificar las especies de plantas y árboles que combinan una buena adaptación a temperaturas medias en invierno, con unas necesidades hídricas medias-bajas. Con esos dos criterios se identifican estas especies:

Especies indicadas para ubicaciones de zona climática 10 con ppt. medias		
Árboles y arbustos grandes	Plantas	Plantas trepadoras
Pino carrasco	<u>Sédum acre</u>	Trepadora del coral
Almez	<u>Sédum álbum</u>	Espuma de mar
<u>Alcornoque</u>	<u>Retama amarilla</u>	Enredadera del mosquito
<u>Olivo</u>	Albahaca india	<u>Hiedra común</u>
Adelfa	<u>Sansevieria</u>	Trompeta amarilla
<u>Algarrobo</u>	<u>Durillo</u>	

Tabla 35: especies indicadas para jardines en zona climática 10 con precipitaciones medias.

Elaboración propia

Las especies de esta tabla que están subrayadas son aquellas que, por sus necesidades hídricas, es probable que puedan evolucionar correctamente sin necesidad de riego, lo que es un aspecto muy interesante de cara a crear jardines con el menor impacto ambiental posible y baja necesidad de mantenimiento.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

El primer factor que se va a definir para establecer el diseño de estos jardines es la necesidad de aprovechar el agua de lluvia. En el caso presente, al disponer de precipitaciones medias se opta por no utilizar sistemas con gran capacidad para almacenamiento de agua, ya que supondría un peso excesivo que puede aprovecharse mejor con una mayor carga de vegetación.

Habiendo establecido estos criterios generales para todos los diseños a utilizar en estas condiciones, se pasa a identificar variantes en función de las condiciones del edificio que vaya a acoger los jardines, y el presupuesto de que disponga el cliente.

Diseño según condiciones del edificio

En este ámbito se distinguirán tres posibilidades:

1. Edificio de nueva construcción cuya estructura puede construirse para soportar grandes cargas: 400 – 500 kg/m².
2. Edificios de construcción firme y/o moderna con capacidad de 100 kg/m² de sobrecarga.
3. Edificios antiguos o en peor estado de conservación que no deben sobrepasar los 50 kg/m².

La primera posibilidad implicará la instalación de una cubierta y una fachada verde intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una alta densidad de vegetación (30 plantas pequeñas por m²), el uso de árboles de tamaño medio-grande para tener un mayor impacto en la calidad del aire, y se incluirá un sistema mediano de almacenamiento de aguas pluviales: el Drainroof H6 de Zinco, con el fin de reducir de manera considerable la necesidad de riego.

En el segundo caso se diseñará una cubierta y una fachada verde semi-intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una densidad alta-media de vegetación, y se incluirá un sistema pequeña de almacenamiento de aguas pluviales como el Drainroof H 2,5, para reducir en cierta medida la necesidad de riego.

En el tercer caso se dispondrá una cubierta y una fachada verde extensiva, que no serán accesibles, pues supondría un riesgo. Para poder tener la mayor densidad posible de vegetación se prescindirá de los sistemas de recogida de agua.

Diseño según capacidad de inversión del cliente

La capacidad de inversión del cliente definirá dos cuestiones que pueden mejorar en gran medida el funcionamiento del jardín:

1. Nivel de digitalización del jardín, cuyas posibilidades se han explicado en el primer punto de este capítulo.
2. Elección de especies según necesidad de riego:
 - Para las cubiertas intensivas se utilizarán el pino carrasco y el alcornoque o el algarrobo por ser especies aptas para la zona, con gran captación de CO₂, y unas necesidades hídricas bajas; por lo que podrían desarrollarse correctamente sin necesidad de riego adicional. Estos árboles se complementarán con las especies que se indiquen para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, que en esta cubierta se dispondrán en una densidad muy alta.
 - En las cubiertas semi-intensivas se utilizarán la retama amarilla y, el durillo por su espesura, que ofrece un muy buen aislamiento, y su poca necesidad de riego; y la sansevieria, que presenta un crecimiento muy rápido con escasa necesidad de riego y/o mantenimiento. Si se dispone de mayor capacidad de riego se dispondrá también de albahaca india, que ofrece una gran aroma y un peso mucho más ligero en relación con su absorción de CO₂.
 - En las cubiertas extensivas se dispondrá una primera capa de sédum acre sobre la que se colocará la misma vegetación que en las semi-intensivas, a excepción del durillo que tiene demasiado peso, pero se dispondrán con una densidad menor. Para reducir el peso se empleará una menor cantidad de retama amarilla, y más sansevieria y albahaca india, que son muy ligeras.
 - En las fachadas se emplearán las especies recomendadas para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, según la capacidad de carga de la fachada. Si hay necesidad de reducir los consumos de agua se empleará la hiedra común y la espuma de mar en lugar de las especies con mayor consumo de agua, como la albahaca india. Estas especies exigen de un mayor mantenimiento, pues pueden ser invasivas para las demás plantas del jardín; pero ofrecen un crecimiento muy rápido con poca necesidad de agua.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

6.6.1 Diseños para ubicaciones con precipitaciones escasas en zona climática 10

El primer paso para plantear este diseño es identificar las especies de plantas y árboles que combinan una buena adaptación a temperaturas medias en invierno, con unas necesidades hídricas bajas. Con esos dos criterios se identifican las siguientes especies:

Especies indicadas para ubicaciones de zona climática 10 con ppt. escasas		
Árboles y arbustos grandes	Plantas	Plantas trepadoras
<u>Alcornoque</u>	<u>Sédum álbum</u>	Trepadora del coral
<u>Olivo</u>	<u>Sédum acre</u>	Espuma de mar
Adelfa	<u>retama amarilla</u>	Enredadera del mosquito
<u>Algarrobo</u>	Sansevieria	<u>Hiedra común</u>
	<u>Durillo</u>	Trompeta amarilla

Tabla 36: especies indicadas para jardines en zona climática 10 con precipitaciones escasas. Elaboración propia

Las especies de esta tabla que están subrayadas son aquellas que, por sus necesidades hídricas, es probable que puedan evolucionar correctamente sin necesidad de riego, lo que es un aspecto muy interesante de cara a crear jardines con el menor impacto ambiental posible y baja necesidad de mantenimiento.

El primer factor que se va a definir para establecer el diseño de estos jardines es la necesidad de aprovechar el agua de lluvia. En el caso presente, al disponer de precipitaciones escasas se opta por utilizar sistemas con gran capacidad para almacenamiento de agua, ya que el aprovechamiento del agua es una cuestión capital.

Habiendo establecido estos criterios generales para todos los diseños a utilizar en estas condiciones, se pasa a identificar variantes en función de las condiciones del edificio que vaya a acoger los jardines, y el presupuesto de que disponga el cliente.

Diseño según condiciones del edificio

En este ámbito se distinguirán tres posibilidades:

1. Edificio de nueva construcción cuya estructura puede construirse para soportar grandes cargas: 400 – 500 kg/m².
2. Edificios de construcción firme y/o moderna con capacidad de 100 kg/m² de sobrecarga.
3. Edificios antiguos o en peor estado de conservación que no deben sobrepasar los 50 kg/m².

La primera posibilidad implicará la instalación de una cubierta y una fachada verde intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una alta densidad de vegetación (30 plantas pequeñas por m²), el uso de árboles de tamaño medio-grande para tener un mayor impacto en la calidad del aire, y se incluirá un sistema grande de almacenamiento de aguas pluviales: el RS60 Zinco, con el fin de reducir al máximo la necesidad de riego.

En el segundo caso se diseñará una cubierta y una fachada verde semi-intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una densidad alta-media de vegetación, y se incluirá un sistema mediano de almacenamiento de aguas pluviales como el Drainroof H6, para reducir en cierta medida la necesidad de riego.

En el tercer caso se dispondrá utilizará el sistema Garoé de Singular Green, que permite desarrollar cubiertas autosuficientes, sin necesidad de riego artificial; o, si no se dispone de tanto presupuesto, el sistema de planchas de Sédum TopGrass con depósito de agua incorporado

Diseño según capacidad de inversión del cliente

La capacidad de inversión del cliente definirá dos cuestiones que pueden mejorar en gran medida el funcionamiento del jardín:

1. Nivel de digitalización del jardín, cuyas posibilidades se han explicado en el primer punto de este capítulo.
2. Elección de especies según necesidad de riego:
 - Para las cubiertas intensivas se utilizarán el olivo y el alcornoque o el algarrobo por ser especies aptas para la zona, con gran captación de CO₂, y unas necesidades hídricas bajas; por lo que podrían desarrollarse correctamente sin necesidad de riego adicional. Estos árboles se complementarán con las especies que se indiquen para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, que en esta cubierta se dispondrán en una densidad muy alta.
 - En las cubiertas semi-intensivas se dispondrá una primera capa de sédum acre, que tiene muy baja necesidad de riego; y sobre ella se plantarán retama amarilla y durillo que, por su espesura, ofrecen un muy buen aislamiento, y presentan poca necesidad de riego. También se plantará la sansevieria, que presenta un crecimiento muy rápido con escasa necesidad de riego y/o mantenimiento.
 - En las cubiertas extensivas se ofrecerán dos opciones según el presupuesto disponible:

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

- La cubierta Garoé de Singular Green, que consta de un aljibe con el que se almacena el agua de lluvia para nutrir a las plantas que la ocupan, que serán sédum álbum y acre y sansevieria; todas ellas capaces de subsistir con muy poco aporte de agua.
- El sistema de TopGrass de placas de Sédum con un sistema modular de aprovechamiento de agua, que habrá que regular para no sobrepasar la capacidad de carga de la fachada. Este sistema apenas requiere de obra, por lo que es mucho más económico.
- En las fachadas se emplearán las especies recomendadas para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, según la capacidad de carga de la fachada. Si hay necesidad de reducir los consumos de agua se empleará la hiedra común y la espuma de mar en lugar de las especies con mayor consumo de agua, como la sansevieria. Estas especies exigen de un mayor mantenimiento, pues pueden ser invasivas para las demás plantas del jardín; pero ofrecen un crecimiento muy rápido con poca necesidad de agua.

6.7 Diseños para zona climática 11

Esta zona climática se encuentra fundamentalmente en las islas canarias, así como en alguna zona de Cádiz, Málaga y Granada. Se distinguen áreas con precipitaciones medias y escasas, por lo que esa será la primera distinción.

6.7.1 Diseños para ubicaciones con precipitaciones medias en zona climática 11

El primer paso para plantear este diseño es identificar las especies de plantas y árboles que combinan una buena adaptación a temperaturas medias en invierno, con unas necesidades hídricas medias-bajas. Con esos dos criterios se identifican las siguientes especies:

Especies indicadas para ubicaciones de zona climática 11 con ppt. medias		
Árboles y arbustos grandes	Plantas	Plantas trepadoras
<u>Alcornoque</u>	<u>Sédum álbum</u>	Trepadora del coral
<u>Olivo</u>	<u>Sédum acre</u>	Espuma de mar
Adelfa	<u>retama amarilla</u>	Enredadera del mosquito
<u>Algarrobo</u>	<u>Sansevieria</u>	<u>Trompeta amarilla</u>
<u>Pino canario</u>	<u>Palma kentia</u>	
	Kalanchoe	
	<u>Cotoneaster</u>	
	Aptenia	

Tabla 37: especies indicadas para jardines en zona climática 11 con precipitaciones medias.

Elaboración propia

Las especies de esta tabla que están subrayadas son aquellas que, por sus necesidades hídricas, es probable que puedan evolucionar correctamente sin necesidad de riego, lo que es un aspecto muy interesante de cara a crear jardines con el menor impacto ambiental posible y baja necesidad de mantenimiento.

El primer factor que se va a definir para establecer el diseño de estos jardines es la necesidad de aprovechar el agua de lluvia. En el caso presente, al disponer de precipitaciones medias se opta por no utilizar sistemas con gran capacidad para almacenamiento de agua, ya que supondría un peso excesivo que puede aprovecharse mejor con una mayor carga de vegetación.

Habiendo establecido estos criterios generales para todos los diseños a utilizar en estas condiciones, se pasa a identificar variantes en función de las condiciones del edificio que vaya a acoger los jardines, y el presupuesto de que disponga el cliente.

Diseño según condiciones del edificio

En este ámbito se distinguirán tres posibilidades:

1. Edificio de nueva construcción cuya estructura puede construirse para soportar grandes cargas: 400 – 500 kg/m².
2. Edificios de construcción firme y/o moderna con capacidad de 100 kg/m² de sobrecarga.
3. Edificios antiguos o en peor estado de conservación que no deben sobrepasar los 50 kg/m².

La primera posibilidad implicará la instalación de una cubierta y una fachada verde intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una alta densidad de vegetación (30 plantas pequeñas por m²), el uso de árboles de tamaño medio-grande para tener un mayor impacto en la calidad del aire, y se incluirá un sistema mediano de almacenamiento de aguas pluviales: el Drainroof H6, con el fin de reducir de manera considerable la necesidad de riego.

En el segundo caso se diseñará una cubierta y una fachada verde semi-intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una densidad alta-media de vegetación, y se incluirá un sistema pequeña de almacenamiento de aguas pluviales como el Drainroof H2'5, para reducir en cierta medida la necesidad de riego.

En el tercer caso se dispondrá una cubierta y una fachada verde extensiva, que no serán accesibles, pues supondría un riesgo. Para poder tener la mayor densidad posible de vegetación se prescindirá de los sistemas de recogida de agua.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Diseño según capacidad de inversión del cliente

La capacidad de inversión del cliente definirá dos cuestiones que pueden mejorar en gran medida el funcionamiento del jardín:

1. Nivel de digitalización del jardín, cuyas posibilidades se han explicado en el primer punto de este capítulo.
2. Elección de especies según necesidad de riego:
 - Para las cubiertas intensivas se utilizarán el pino canario y el alcornoque o el algarrobo por ser especies aptas para la zona, con gran captación de CO₂, y unas necesidades hídricas bajas; por lo que podrían desarrollarse correctamente sin necesidad de riego adicional. Estos árboles se complementarán con los especies que se indiquen para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, que en esta cubierta se dispondrán en una densidad muy alta.
 - En las cubiertas semi-intensivas se utilizarán la retama amarilla y, el cotoneaster por su espesura, que ofrece un muy buen aislamiento, y su poca necesidad de riego; y la sansevieria, que presenta un crecimiento muy rápido con escasa necesidad de riego y/o mantenimiento. Si se dispone de mayor capacidad de riego se dispondrá también de aptenia, que también presenta un alto nivel de densidad y resulta muy colorida.
 - En las cubiertas extensivas se dispondrá una primera capa de sédum acre sobre la que se colocará la misma vegetación que en las semi-intensivas, a excepción del durillo que tiene demasiado peso, pero se dispondrán con una densidad menor. Para reducir el peso se empleará una menor cantidad de retama amarilla, y en su lugar se plantará sansevieria y Kalanchoe, que son más ligeras.
 - En las fachadas se emplearán las especies recomendadas para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, según la capacidad de carga de la fachada. Si hay necesidad de reducir los consumos de agua se empleará la trompeta amarilla, que necesita poca agua y es muy decorativa con su color amarillo brillante.

6.7.2 Diseños para ubicaciones con precipitaciones escasas en zona climática 11

El primer paso para plantear este diseño es identificar las especies de plantas y árboles que combinan una buena adaptación a temperaturas medias en invierno, con unas necesidades hídricas bajas. Con esos dos criterios se identifican las siguientes especies:

Especies indicadas para ubicaciones de zona climática 11 con ppt. escasas		
Árboles y arbustos grandes	Plantas	Plantas trepadoras
<u>Alcornoque</u>	<u>Sédum álbum</u>	Trepadora del coral
<u>Olivo</u>	<u>Sédum acre</u>	Espuma de mar
Adelfa	retama amarilla	Enredadera del mosquito
<u>Algarrobo</u>	<u>Sansevieria</u>	<u>Trompeta amarilla</u>
	<u>Palma kentia</u>	
	Cotoneaster	

*Tabla 38: especies indicadas para jardines en zona climática 11 con precipitaciones medias.
Elaboración propia*

Las especies de esta tabla que están subrayadas son aquellas que, por sus necesidades hídricas, es probable que puedan evolucionar correctamente sin necesidad de riego, lo que es un aspecto muy interesante de cara a crear jardines con el menor impacto ambiental posible y baja necesidad de mantenimiento.

El primer factor que se va a definir para establecer el diseño de estos jardines es la necesidad de aprovechar el agua de lluvia. En el caso presente, al disponer de precipitaciones escasas se opta por utilizar sistemas con gran capacidad para almacenamiento de agua, ya que el correcto aprovechamiento del agua será un factor clave en estos jardines.

Habiendo establecido estos criterios generales para todos los diseños a utilizar en estas condiciones, se pasa a identificar variantes en función de las condiciones del edificio que vaya a acoger los jardines, y el presupuesto de que disponga el cliente.

Diseño según condiciones del edificio

En este ámbito se distinguirán tres posibilidades:

1. Edificio de nueva construcción cuya estructura puede construirse para soportar grandes cargas: 400 – 500 kg/m².
2. Edificios de construcción firme y/o moderna con capacidad de 100 kg/m² de sobrecarga.
3. Edificios antiguos o en peor estado de conservación que no deben sobrepasar los 50 kg/m².

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

La primera posibilidad implicará la instalación de una cubierta y una fachada verde intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una alta densidad de vegetación (30 plantas pequeñas por m²), el uso de árboles de tamaño medio-grande para tener un mayor impacto en la calidad del aire, y se incluirá un gran sistema de almacenamiento de aguas pluviales: el RS60 Zinco, con el fin de reducir al máximo la necesidad de riego.

En el segundo caso se diseñará una cubierta y una fachada verde semi-intensivas, ofreciendo, en todo caso, ciertas áreas de recreo si son cubiertas accesibles. Se buscará una densidad alta-media de vegetación, y se incluirá un sistema mediano de almacenamiento de aguas pluviales como el Drainroof H6, para reducir en cierta medida la necesidad de riego.

En el tercer caso se dispondrá utilizará el sistema Garoé de Singular Green, que permite desarrollar cubiertas autosuficientes, sin necesidad de riego artificial; o, si no se dispone de tanto presupuesto, el sistema de planchas de Sédum TopGrass con depósito de agua incorporado.

Diseño según capacidad de inversión del cliente

La capacidad de inversión del cliente definirá dos cuestiones que pueden mejorar en gran medida el funcionamiento del jardín:

1. Nivel de digitalización del jardín, cuyas posibilidades se han explicado en el primer punto de este capítulo.
2. Elección de especies según necesidad de riego:
 - Para las cubiertas intensivas se utilizarán el pino canario y el alcornoque ser especies aptas para la zona, con gran captación de CO₂, y unas necesidades hídricas bajas; por lo que podrían desarrollarse correctamente sin necesidad de riego adicional. Estos árboles se complementarán con las especies que se indiquen para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, que en esta cubierta se dispondrán en una densidad mucho más alta.
 - En las cubiertas semi-intensivas se dispondrá una primera capa de sédum acre, que tiene muy baja necesidad de riego; y sobre ella se plantarán retama amarilla y cotoneaster que, por su espesura, ofrecen un muy buen aislamiento, y presentan poca necesidad de riego. También se plantará la sansevieria, que presenta un crecimiento muy rápido con escasa necesidad de riego y/o mantenimiento.
 - En las cubiertas extensivas se ofrecerán dos opciones según el presupuesto disponible:

- La cubierta Garoé de Singular Green, que consta de un aljibe con el que se almacena el agua de lluvia para nutrir a las plantas que la ocupan, que serán sédum álbum y acre y sansevieria; todas ellas capaces de subsistir con muy poco aporte de agua.
- El sistema de TopGrass de placas de Sédum con un sistema modular de aprovechamiento de agua, que habrá que regular para no sobrepasar la capacidad de carga de la fachada. Este sistema apenas requiere de obra, por lo que es mucho más económico.
- En las fachadas se emplearán las especies recomendadas para las cubiertas semi-intensivas y extensivas, según la capacidad de carga de la fachada. Si hay necesidad de reducir los consumos de agua se empleará la trompeta amarilla, que necesita poca agua y es muy decorativa con su color amarillo brillante.

6.8 Resumen de las soluciones propuestas, costes orientativos

Para configurar el modelo de negocio que se busca mediante este trabajo resulta fundamental poder ofrecer los costes que tendrían las distintas soluciones propuestas, aunque sea de modo aproximado.

En el ámbito de los sistemas de digitalización y automatización ya se indicaron los precios de los distintos sistemas escogidos, como puede verse en la tabla 27 en el apartado 6.1.

Respecto a los modelos de cubiertas se pueden ofrecer los siguientes costes:

- Jardines verticales, según vegetación:
 - Jardines intensivos: 400 – 450 €/m².
 - Jardines semi-intensivos: 250 – 350 €/m².
 - Jardines extensivos: 150 – 250 €/m².
- Sistemas de captación de agua de lluvia: en primer lugar hay que distinguir entre los paneles de almacenamiento de agua en las cubiertas, y los sistemas de recogida de agua para redirigirla a un depósito desde el que utilizarlo en el edificio.
 - Las canalizaciones se han encontrado empresas que las realizan por un precio de 2.500 – 3.000 € incluyendo el depósito, pero no la posterior canalización interna del edificio. No obstante, esta obra sólo se consideraría en casos de edificios de nueva construcción, en los que ya estuviese previsto de antemano.
 - Para los sistemas de almacenamiento de agua en las propias cubiertas, no se ha logrado obtener un presupuesto de las empresas que los comercializan; no obstante, se puede realizar la diferenciación que se ha hecho en el proyecto en función de la complejidad de cada sistema. Ya

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

que los hay desde modulares, que puede colocar una única persona; hasta otros que requieren de obra.

- Trabajos de jardinería: de acuerdo con los presupuestos que se han obtenido en cronoshare, se pueden establecer los siguientes precios orientativos, asumiendo que no se aportan herramientas, se desarrollan los jardines en entorno urbanos, y con libertad de horarios:
 - Coste personal: 17 € / hora / jardinero.
 - Coste plantas estándar: 20-30 € / m2.
 - Coste plantas de importación: 50 - 70 € / m2.
 - Coste árboles medianos: 120 – 200 € / unidad.
 - Coste árboles grandes: 250 – 400 € / unidad.
- Estructuras horizontales en fachadas: en este elemento hay múltiples factores que determinan el precio, como el material de la fachada (pues no es lo mismo trabajar sobre ladrillo que sobre piedra u hormigón); la necesidad de utilizar andamios frente a la posibilidad de realizar las fijaciones descolgándose desde la cubierta; la resistencia de las estructuras a colocar en función de los árboles que se quieran disponer sobre ellas; etc.
 - Andamiaje: para fachadas de hasta 250 m2, con altura máxima de 20 m, se ha encontrado una empresa que cobra 3.015 €. A continuación se muestra su anuncio en habitissimo.



A.D.S. Construcciones y Rehabilitaciones Silvio respondió...

Adelsilv (Almería, Almería) - hace 5 años

Depende de la complejidad del edificio ,obra etc.

Pero ai tienes una referencia mas o menos. Te aconsejo que lo les atentamente.

Los precios pueden variar bastante.

Montaje y desmontaje de andamio tubular normalizado, tipo multidireccional, hasta 20 m de altura máxima de trabajo, formado por estructura tubular de acero galvanizado en caliente, sin duplicidad de elementos verticales y plataformas de trabajo de 60 cm de ancho; para ejecución de fachada de 250 m², con elementos constructivos (balcones, cornisas, galerías, etc.) dispuestos en un porcentaje menor del 50% de su perímetro y que sobresalen más de 30 cm del plano de fachada, considerando una distancia máxima de 20 m entre el punto de descarga de los materiales y el punto más alejado del montaje.

3.014,19€

Imagen 35: precio por andamiaje de fachada. Fuente: habitissimo

- Estructuras de acero con capacidad para soportar los árboles: variará en función del tamaño y del peso que deban soportar, pero para un tamaño estándar de 10 x 1 metro (anchura de las zonas de ventanas x profundidad) se puede considerar un precio aproximado de 2.000 €.

Capítulo 7: Conclusiones

En este apartado se va a realizar una reflexión final sobre lo que se ha aprendido mediante la realización de este trabajo, así como las posibilidades de desarrollo que presenta este ámbito.

Se pueden identificar las siguientes conclusiones extraídas del trabajo:

1. Los jardines urbanos constituyen un sector en auge, con una presencia cada vez mayor en las capitales europeas, y con claras perspectivas de desarrollo gracias a los beneficios que generan y las distintas normativas que se están aprobando y que los impulsarán, haciendo incluso que sean un requisito en la nueva edificación.
2. La reducción de las emisiones de CO₂, y demás gases contaminantes, en las ciudades es uno de los grandes desafíos de las próximas décadas, dado el gran volumen de contaminación que producen las ciudades. Y el uso de vegetación es una de las herramientas más potentes para colaborar en esa misión, por su capacidad de captación, su bajo coste en comparación con otros sistemas que requieran de mayor obra, y su ayuda a la reducción del consumo de energía.
3. A nivel social, el desarrollo de este sector también ofrece una muy buena oportunidad para la creación de empleo verde y de calidad, pues aún la necesidad de digitalización, trabajos de construcción y acondicionamiento, jardinería y cuidado de plantas, y transporte.
4. Desde el punto de vista económico, visto el aumento generalizado del precio de la electricidad, el uso de estas estructuras es ya, y aún lo será más, una inversión muy rentable a medio y largo plazo. Supondrá para los edificios que las utilicen, una importante reducción en las tarifas energéticas.
5. Su desarrollo futuro pasa, fundamentalmente, por los siguientes retos:
 - Un aumento de la digitalización para lograr jardines lo más automatizados posibles, reduciendo así su necesidad de trabajos de mantenimiento.
 - Un estudio en profundidad de las distintas especies para crear bases de datos que permitan identificar los árboles y plantas más convenientes según clima, necesidades hídricas, objetivos de descontaminación, aislamiento, etc.
 - El desarrollo de sistemas complementarios como los de recogida y aprovechamiento de aguas pluviales, autoconsumo de energía mediante placas en fachadas o persianas, etc.

Capítulo 8: Bibliografía

[GOBE13]

https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/planes-gestion-riesgos-inundacion/Infraestructura_verde.aspx

[SUEZ21]

<https://www.suez.es/es-es>

[SING21]

<https://www.singulargreen.com>

[VERT21]

<https://www.vertinvertical.com/Techos-Verdes-Bogota-Colombia.php>

[UDES21]

<https://www.udesign.es/best-biggest-vertical-gardens-world/>

[ECEU19]

http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index_en.htm

[VERD20]

<https://vertdicalmagazine.com/cubiertas-verdes/>

[BLAN14]

<https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/>

[AQUA16]

https://aquaespana.org/sites/default/files/documents/files/2016.Guia_tecnica_pluviales.pdf

[ZINC20]

https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sites/default/files/2020-11/ZinCo_Cubierta_verde_40.pdf

[GEOP18]

https://www.geoplastglobal.com/wp-content/uploads/2018/06/Drainroof_technical_Manual.pdf

[TOPG19]

<http://www.sedum.es/documents/Catalogo-Topgrass-www.cespednatural.com.949-207394.pdf>

Anexo: Integración de los ODS en el proyecto

Este Trabajo Fin de Máster se ha desarrollado a partir de las prácticas del MESEM realizadas en Suez, en la Dirección de Desarrollo Sostenible Urbano, y como tal tiene, en su propia esencia, un claro alineamiento con el ODS número 11: Ciudades y comunidades sostenibles. Además, entre los objetivos principales del proyecto se encuentran la reducción de la huella de carbono, la mejora de la eficiencia energética, el aprovechamiento de aguas pluviales y la conservación de la biodiversidad; todos ellos estrechamente relacionados con los siguientes ODS:

- ODS número 9: Industria, Innovación e Infraestructuras.
- ODS número 12: Producción y consumo responsables.
- ODS número 13: Acción por el clima.

ODS número 11: Ciudades y comunidades sostenibles

En primer lugar, se muestran varios datos destacables obtenidos en la propia web de Naciones Unidas:

- Las ciudades del mundo ocupan solo el 3% del territorio, pero representan entre el 60% y el 80% del consumo de energía y el 75% de las emisiones de carbono mundiales.
- La rápida urbanización está ejerciendo presión sobre los suministros de agua dulce, las aguas residuales, el entorno de vida y la salud pública.
- Desde 2016, el 90% de los habitantes de las ciudades respiraba aire que no cumplía las normas de seguridad establecidas por la Organización Mundial de la Salud, lo que provocó un total de 4,2 millones de muertes debido a la contaminación atmosférica. Más de la mitad de la población urbana mundial estuvo expuesta a niveles de contaminación del aire al menos 2,5 veces más alto que el estándar de seguridad.

En el mismo análisis de Naciones Unidas respecto a este ODS se recogen una serie de metas que se deben perseguir para cumplir con el objetivo marcado:

- De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.
- Apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales fortaleciendo la planificación del desarrollo nacional y regional.

- De aquí a 2020, aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.

Estas metas se alinean perfectamente con los objetivos del proyecto, pues un mayor desarrollo de los jardines urbanos permitirá alcanzar esa reducción de la huella ambiental de las ciudades; desarrollar un nuevo sector que ofrezca trabajo verde y digital; y reducir, en su conjunto, los efectos del cambio climático.

ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructuras

El alineamiento con este ODS viene por cómo este TFM busca el desarrollo de una nueva línea de negocio que conlleva el diseño, fabricación e instalación de nuevos productos y soluciones. En primer lugar, se muestran varios datos destacables obtenidos en la propia web de Naciones Unidas:

- El efecto de multiplicación del trabajo de la industrialización tiene un impacto positivo en la sociedad. Cada trabajo en la industria crea 2,2 empleos en otros sectores.
- Las pequeñas y medianas empresas que se dedican al procesamiento industrial y la producción manufactura son las más críticas en las primeras etapas de la industrialización y, por lo general, son los mayores creadores de empleos. Constituyen más del 90% de las empresas de todo el mundo y representan entre el 50 y el 60% del empleo.

En el mismo análisis de Naciones Unidas respecto al ODS 9 se recogen una serie de metas que se deben perseguir para cumplir con el objetivo marcado y con las que este proyecto está claramente alineado:

- Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano.
- De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.

El proyecto de este TFM puede colaborar en la consecución de estos objetivos, pues mediante la construcción verde se tendrán infraestructuras y edificios más sostenibles.

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

ODS número 12: Producción y consumo responsables

El progreso económico y social conseguido durante el último siglo ha estado acompañado de una degradación medioambiental que está poniendo en peligro los mismos sistemas de los que depende nuestro desarrollo futuro (y ciertamente, nuestra supervivencia). El consumo y la producción sostenibles consisten en hacer más y mejor con menos. También se trata de desvincular el crecimiento económico de la degradación medioambiental, aumentar la eficiencia de recursos y promover estilos de vida sostenibles.

A continuación, se muestran una serie de datos referidos a este ODS obtenidos en la propia web de Naciones Unidas:

- Si la población mundial llegase a alcanzar los 9600 millones en 2050, se necesitaría el equivalente de casi tres planetas para proporcionar los recursos naturales precisos para mantener el estilo de vida actual.
- El uso excesivo de agua contribuye a la escasez de agua mundial.
- A pesar de los avances tecnológicos que han promovido el aumento de la eficiencia energética, el uso de energía en los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) seguirá creciendo otro 35% para 2020. El consumo doméstico y comercial de energía es la segunda área de uso de energía que más rápidamente ha crecido, después del transporte.
- Los hogares consumen el 29% de la energía mundial y, en consecuencia, contribuyen al 21% de las emisiones de CO₂ resultantes.

En el mismo análisis de Naciones Unidas respecto al ODS 12 se recogen una serie de metas que se deben perseguir para cumplir con el objetivo marcado y con las que este proyecto está claramente alineado:

- De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.
- Elaborar y aplicar instrumentos para vigilar los efectos en el desarrollo sostenible, a fin de lograr un turismo sostenible que cree puestos de trabajo y promueva la cultura y los productos locales.

El alineamiento del proyecto con este ODS viene por dos de sus objetivos fundamentales, que son: reducir los consumos de energía de los edificios, lo que conllevará una menor cantidad de emisiones; y crear sumideros de carbono que permitan capturar CO₂ y otros gases nocivos para disminuir las emisiones netas. El desarrollo de estas estructuras llevará asociado la creación de puestos de trabajo tanto para su instalación como para su mantenimiento, y permitirá recuperar espacios que puedan resultar atractivos para atraer el turismo.

ODS 13: Acción por el clima

El 2019 fue el segundo año más caluroso de todos los tiempos y marcó el final de la década más calurosa (2010-2019) que se haya registrado. Los niveles de dióxido de carbono (CO₂) y de otros gases de efecto invernadero en la atmósfera aumentaron hasta niveles récord en 2019. El cambio climático está afectando a todos los países de todos los continentes. Está alterando las economías nacionales y afectando a distintas vidas.

A continuación, se muestran una serie de datos referidos a este ODS obtenidos en la propia web de Naciones Unidas

- Los océanos se han calentado, la cantidad de nieve y de hielo ha disminuido, y ha subido el nivel del mar. Entre 1901 y 2010, el nivel medio del mar aumentó 19 cm, pues los océanos se expandieron debido al calentamiento y al deshielo. La extensión del hielo marino del Ártico se ha reducido en los últimos decenios desde 1979, con una pérdida de hielo de 1,07 millones de km² cada decenio.
- Dada la actual concentración y las continuas emisiones de gases de efecto invernadero, es probable que a finales de siglo el incremento de la temperatura mundial supere los 1,5 grados centígrados en comparación con el período comprendido entre 1850 y 1900 en todos los escenarios menos en uno. Los océanos del mundo seguirán calentándose y continuará el deshielo. Se prevé una elevación media del nivel del mar de entre 24 y 30 cm para 2065 y entre 40 y 63 cm para 2100. La mayor parte de las cuestiones relacionadas con el cambio climático persistirán durante muchos siglos, a pesar de que se frenen las emisiones.
- Las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO₂) han aumentado casi un 50% desde 1990.
- Entre 2000 y 2010 se produjo un incremento de las emisiones mayor que en las tres décadas anteriores.
- Si se adopta una amplia gama de medidas tecnológicas y cambios en el comportamiento, aún es posible limitar el aumento de la temperatura media mundial a 2 grados centígrados por encima de los niveles preindustriales.

En el mismo análisis de Naciones Unidas respecto al ODS 13 se recogen una serie de metas que se deben perseguir para cumplir con el objetivo marcado y con las que este proyecto está claramente alineado:

- Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.
- Un objetivo vinculante para la UE en 2030 de, al menos, un 55% menos de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con 1990

Desarrollo de Cubiertas Verdes y Jardines Verticales, implicaciones energéticas, lucha contra el cambio climático y salud ambiental

Autor: Pablo Rodríguez Cuadrado

Este proyecto queda encuadrado en el ODS de Acción por el clima por dos de sus objetivos fundamentales, que son: reducir los consumos de energía de los edificios, lo que conllevará una menor cantidad de emisiones; y crear sumideros de carbono que permitan capturar CO₂ y otros gases nocivos para disminuir las emisiones netas. Esta reducción del consumo y las emisiones hará de las ciudades espacios más adaptados y con mayor resistencia ante el cambio climático.