



# JARDINES VERTICALES





**PALABRAS CLAVE:** jardines verticales, comportamiento térmico, beneficios, clasificación de sistemas, futuras líneas de investigación.

## RESUMEN

El presente trabajo pretende ofrecer una visión global de los llamados jardines verticales. En primer lugar se enumeran los beneficios que aportan estos tipos de envolvente, tanto a escala del entorno urbano como del propio edificio.

A continuación se lleva a cabo una clasificación conceptual de las diferentes tipologías de jardines, elaborando además una tabla a modo de resumen de las características más relevantes de cada sistema.

Realizada la clasificación, se procede a evaluar el comportamiento térmico de secciones representativas de las principales familias de sistemas de los denominados LWS (Living Wall Systems).

Por último, junto a la elaboración de conclusiones finales se realiza un sencillo esquema de toma de decisiones sobre el sistema adecuado en función de las variables de cada proyecto.

---

**KEYWORDS:** vertical gardens, thermal behavior, benefits, systems classification, future research directions.

## ABSTRACT

The aim of this work is to provide an overview of the so-called vertical gardens. First of all, the benefits of these types of envelopes are listed, regarding the urban environment as well as the building itself.

Then a conceptual classification of the different types of gardens is done, elaborating a table as a summary of the most important characteristics of each system.

Once the former classification has been elaborated, this work studies the thermal behavior of cross sections of the main families of LWS (Living Wall Systems).

Finally, along the development of final conclusions, a simple decision tree about the appropriate system is done, depending on the variables of each project.

---

**PARAULES CLAU:** jardins verticals, comportament tèrmic, beneficis, classificació de sistemes, futures línies d'investigació.

## RESUM

El present treball pretén oferir una visió global dels cridats jardins verticals. En primer lloc s'enumeren els beneficis que aporten estos tipus d'envolvent, tant a escala de l'entorn urbà com del propi edifici.

A continuació es du a terme una classificació conceptual de les diferents tipologies de jardins, elaborant a més una taula a manera de resum de les característiques més rellevants de cada sistema.

Realitzada la classificació, es procedix a avaluar el comportament tèrmic de seccions representatives de les principals famílies de sistemes dels denominats LWS (Living Wall Systems).

Finalment, junt amb l'elaboració de conclusions finals es realitza un senzill esquema de presa de decisions sobre el sistema adequat en funció de les variables de cada projecte.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3-4</b>
<b>2. BENEFICIOS DE LOS JARDINES VERTICALES.....</b>	<b>5-8</b>
<b>3. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE JARDINES VERTICALES.....</b>	<b>9-29</b>
Tabla de clasificación general.....	10
Tabla de clasificación de LWS.....	11
<b>3.1 Fachadas vegetales tradicionales.....</b>	<b>12-13</b>
<b>3.2 Muros vivos.....</b>	<b>13-28</b>
<b>3.2.1 Sistema directo.....</b>	<b>13-15</b>
<b>3.2.2 Sistema indirecto, LWS.....</b>	<b>15-28</b>
Sistemas con sustrato pesado.....	18-20
Sistemas con sustrato ligero.....	21-22
Sistemas hidropónicos.....	22-25
Sistemas aeropónicos.....	26-28
Tabla visión global características sistemas.....	29
<b>4. ESTUDIO ENERGÉTICO DE SISTEMAS TIPO.....</b>	<b>30-45</b>
Cálculo de la transmitancia de secciones tipo.....	36-42
Sistema con sustrato pesado Leaf Box.....	36
Sistema de sustrato ligero Green living walls.....	37
Sistema hidropónico de espumas F+p.....	38
Sistema hidropónico de fieltros geotextiles Le mur vegetal.....	39
Sistema hidropónico con fibras Gsky pro Wall.....	40
Sistemas de referencia.....	41
Estudio térmico. Normativa.....	43-44
<b>5. RECOMENDACIONES PROYECTUALES Y CONCLUSIONES GENERALES....</b>	<b>44-48</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>48-50</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha visto incrementado el interés por los llamados jardines verticales (Living walls o green walls) y las empresas que los comercializan, inscrito en un clima de creciente preocupación por el medio ambiente y la eficiencia energética.

El uso de vegetación en las fachadas es herencia de la arquitectura tradicional, que empleando los materiales disponibles daba respuesta a la necesidad de cobijo y abrigo del ser humano. En zonas climáticas especialmente adversas, como el norte de Europa, es posible aún hoy en día encontrar viviendas cubiertas por turba sobre la que se planta césped, ofreciendo un alto aislamiento gracias a la combinación de la capa de tierra más el elemento vegetal, proporcionando además un alto grado de adaptación e integración con el medioambiente.



Imágenes 1 y 2. Casas cubiertas de turba en Islandia.

El empleo del elemento verde se remonta a tiempos inmemoriales, desde los míticos jardines colgantes de Babilonia, pasando por los jardines de la arquitectura clásica griega o romana o los jardines tradicionales japoneses, hasta el organicismo de la arquitectura de maestros como F.L. Wright.

La vegetación ha sido y es una fuerte herramienta de proyecto, capaz de configurar espacios, de crear y transformar la arquitectura. Sumado a esto no se debe menospreciar la importancia del carácter subjetivo que lleva asociado, de su capacidad de asociación al elemento primitivo, de la nostalgia del ser humano que habita en las ciudades por el verde vivo.



Imágenes 3 y 4. Presencia de la vegetación en las ciudades.



## Objetivos

Este trabajo pretende ofrecer una visión global de las coberturas verdes, sistematizando las diferentes tipologías existentes desde un punto de vista conceptual y constructivo, realizando un estudio energético de sistemas tipo y aportando una serie de criterios desde el punto de vista del proyecto arquitectónico.

## 2. BENEFICIOS DE LOS JARDINES VERTICALES

La gran concentración de edificios que requieren sistemas de climatización y el tránsito rodado producen una gran cantidad de sustancias nocivas y consumen el oxígeno de nuestras ciudades. Esto sumado a las grandes extensiones de hormigón y asfalto que constituyen la piel de las zonas urbanas, lleva a un sobrecalentamiento de la atmósfera, produciendo remolinos de suciedad y partículas que ascienden por el calor generado (Minke, 2012).

Según Lötsch (1981), citado por Minke (2012), en las noches de verano se alcanzan en el centro de una gran ciudad, temperaturas del aire de entre 4° y 11°C más altas que en los suburbios. Las ciudades tienen hasta un 15% menos de horas de sol directo y una mayor frecuencia de niebla (de 30 a 100%) según la época del año.

La presencia de jardines en las vías y patios ajardinados, pero sobre todo de techos y fachadas ajardinados, podrían mejorar decididamente el clima polucionado de las ciudades: el aire se purificaría, se reducirían considerablemente los remolinos de polvo y las variaciones de temperatura y los porcentajes de humedad disminuirían. Para lograr un clima urbano saludable, probablemente sería suficiente con ajardinar entre un 10 y un 20% de todas las superficies techadas de la ciudad, ya que un techo de césped sin podar tiene de promedio de 5 a 10 veces más de superficie de hojas que la misma área en un parque abierto. (Hasan, 2013)

A continuación se enumeran los principales beneficios de las superficies ajardinadas:

### **Producción de oxígeno y consumo de CO<sub>2</sub>**

Las plantas mediante la fotosíntesis toman dióxido de carbono del entorno y liberan oxígeno, en un proceso en el que 6 moléculas de CO<sub>2</sub> más otras seis de H<sub>2</sub>O, mediante un consumo de energía de 2,83KJ producen una molécula de glucosa y 6 de O<sub>2</sub>.



### **Limpieza del aire y aire activado por microiones**

Las partículas de suciedad y el polvo se adhieren a las hojas y son arrastradas más adelante por la lluvia hasta el suelo o sustrato, donde son metabolizados por la microflora de hongos y bacterias existente en el suelo. Además las plantas tienen la capacidad de absorber ciertas sustancias nocivas fijándolas en sus tejidos, como aerosoles, formaldehídos presentes en el humo del tabaco y monóxido de carbono (Groult 2010).

En espacios con plantas hay una alta concentración de microiones negativos, que son absorbidos por la respiración, con un efecto favorable sobre la salud (Minke, 2012).

### **Reducción del remolino de polvo**

En edificios de altura considerable la apertura de las ventanas hace que entren remolinos de polvo al interior (Minke, 2012). En un edificio cubierto por vegetación esto no ocurre, ya que las hojas frenan y retienen las partículas de polvo en suspensión.

## Conservación de la biodiversidad urbana

El aumento de la flora y fauna han sido documentados en estudios sobre cubiertas vegetales, por lo que es de suponer que se pueda extrapolar a los jardines verticales. Así, estos pueden servir como hábitat a especies como insectos o animales, ya sea de forma permanente como zona de tránsito entre áreas como parques o jardines.

## Regulación de la temperatura

Mediante la evaporación del agua, la condensación y la fotosíntesis las plantas son capaces de extraer calor del ambiente y de reducir los gradientes térmicos día-noche. La vegetación en climas fríos retiene el calor interior y en los cálidos dificulta la entrada de calor del exterior.

En estos últimos, la presencia de vegetación puede llegar a reducir las temperaturas ambientes de 1 a 5 °C. Se calcula que una reducción de 5° de la temperatura exterior adyacente podría suponer ahorros en refrigeración de hasta un 50% (Minke, 2012).

## Efecto del aislamiento térmico (Protección térmica)

La masa vegetal crea un colchón de aire que ofrece aislamiento térmico. Además proporciona sombra a la fachada y absorbe parte de la energía solar incidente en el proceso de la fotosíntesis.

Según Kiessl y Rath (1966) mediciones sobre una pared reverdecida en Alemania arrojaron que el 50% de la energía solar que llega es absorbida, el 30% reflejada y tan solo el 20% alcanza el revestimiento directamente (Imagen 5).

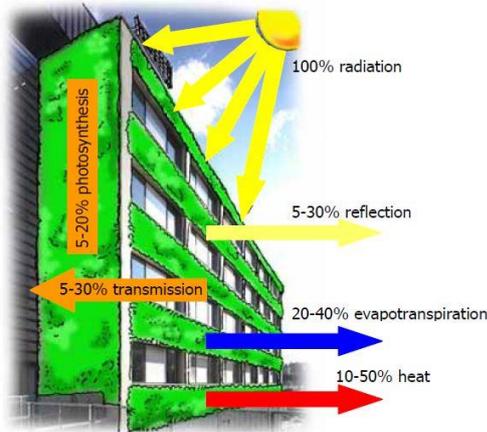


Imagen 5.

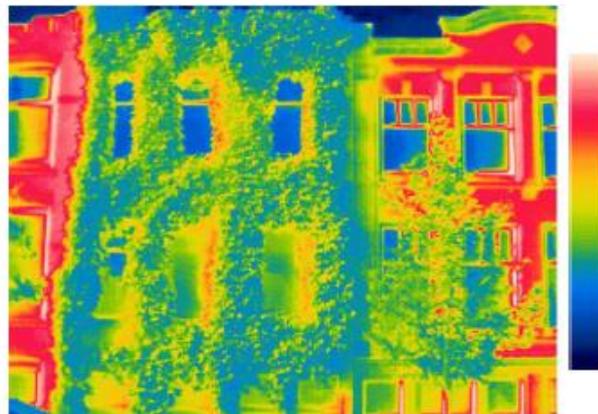


Imagen 6. Fotografía con cámara infrarroja de una fachada cubierta de hiedra en Delft, Holanda. (Haas *et al*, 2013)

La sombra directa es uno de los beneficios más evidentes de la vegetación. Comparada con sistemas artificiales aportan similares efectos más los beneficios del enfriamiento evaporativo.

Respecto a las aperturas de fachada, la vegetación puede crear un alero natural, con ventajas respecto a uno fijo, ya que el uso de especies de hoja caduca en verano matiza la incidencia solar y en invierno dejan pasar la luz.

## Variación de la incidencia del viento

La vegetación actúa como una barrera semi-permeable que reduce la velocidad del viento, efecto especialmente beneficioso ya que una velocidad de viento elevada produce una disminución de la eficacia del aislamiento térmico. Además el descenso de temperatura ambiente provocada por el elemento verde crea masas de aire a diferente temperatura y densidad que tienden a equilibrarse formando circulaciones naturales de aire, refrescando el entorno (Imagen 7).

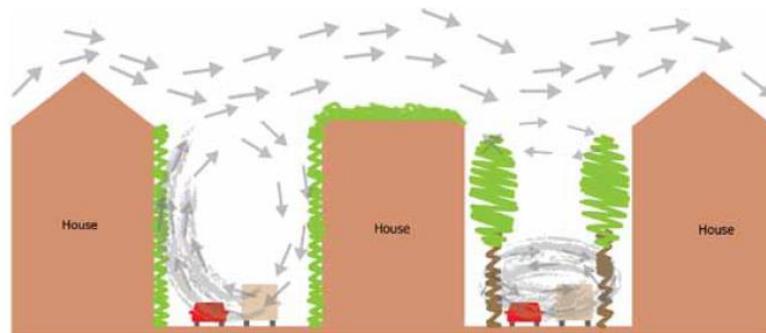


Imagen 7. Circulación de aire entre jardines verticales frente a la de árboles a ambos lados de la calle (Ottelé, 2008)

## Reducción del efecto isla

Este efecto se produce por la acumulación de calor en las zonas urbanas densamente edificadas, cuyas superficies, sobre todo las más oscuras como el asfalto, absorben el calor diurno que pasa a ser irradiado durante la noche. La falta de vegetación en general en las ciudades, sumado al empleo de combustible fósiles acrecientan este efecto. La integración de jardines verticales en zonas urbanas densamente construidas ayudaría a mitigar los impactos negativos del efecto isla. (Timur y Karaca, 2013) (Ochoa, 1999).

## Regulación de la humedad

Cuando el aire se encuentra en estado seco (poco saturado y a una temperatura elevada) evaporan una cantidad de agua apreciable, elevando la humedad relativa del ambiente. Por el contrario, si se produce una condensación sobre las hojas y tallos en forma de rocío la humedad del entorno disminuye.

## Protección de las fachadas contra los rayos solares y la lluvia ácida

Los rayos ultravioletas tienen la capacidad de descomponer las cadenas poliméricas de las pinturas de base sintética, dañando la estética de las fachadas. Además la lluvia ácida ataca los revestimientos de cal y cemento (Minke, 2012).

## Reducción de la escorrentía de las aguas pluviales

La vegetación, al igual que ocurre en las cubiertas ajardinadas ayuda a la retención y al drenaje del agua de lluvia.

## Protecciones físicas

La vegetación proporciona no solo protecciones visuales, contra el viento y los rayos solares, sino que dependiendo del tipo de especies vegetales y del espesor de estas es capaz de controlar el acceso no deseado de animales y personas.

## Reciclaje de las aguas grises

Con el tratamiento adecuado, el agua proveniente de usos domésticos puede ser reciclada y empleada en el riego de los jardines verticales. Si el sistema cuenta con recogida de agua inferior, esta puede a su vez ser aprovechada para otros usos.

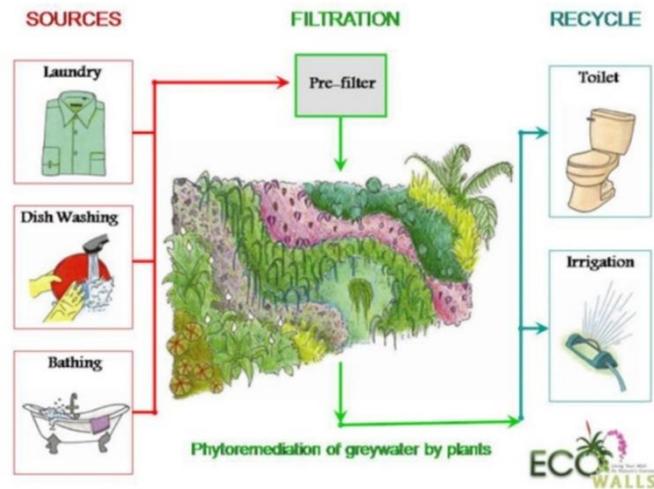


Imagen 8. Reciclaje de aguas. Eco-Walls (Timur y Karaca, 2013)

## Protección contra el ruido

Cuando el jardín cuenta con un espesor considerable, puede actuar como pantalla acústica, similar a las que se sitúan junto al paso de una vía férrea o de una vía rodada de alta velocidad junto a zonas residenciales.

## Producción de productos para el consumo humano

Lechugas, frutas, legumbres, hierbas aromáticas.

**Beneficios sociales:** mejora de la salud y del bienestar de los ciudadanos. Capacidad de transformación de los espacios urbanos.

La vegetación influye en las propiedades físicas de los sonidos y también en la percepción del ser humano a los ruidos en los entornos urbanos.

## Efectos estéticos y psicológicos

De acuerdo con Ottelé, en referencia a Owen, Ulrich y Fjield, la vegetación produce un efecto tranquilizante sobre las personas estresadas y estimula a las cansadas, además aumenta el rendimiento, mejora la recuperación de los enfermos y previene los estados depresivos. Los jardines verticales son empleados como un recurso estético que permite dotar de un carácter propio a los proyectos, especialmente recurrente en edificios públicos como hoteles, galerías de arte, museos, restaurantes o bancos. Aporta además un aspecto cambiante según las estaciones, variando la monotonía de las fachadas.



### 3. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS

Al abordar la clasificación de los diferentes tipos de sistemas vegetales verticales encontramos una primera división básica: las fachadas vegetales tradicionales (Green facades) que son aquellas en las que las plantas crecen en el sustrato directamente del suelo y los “muros vivos”, en los que las plantas reciben el agua y los nutrientes necesarios a nivel del propio paramento.

Ambos sistemas se dividen a su vez en directo e indirecto. Este último consta de un sistema intermedio entre las plantas y la fachada, creando una cámara de aire. Puede estar formado por un sistema de soporte, por espaciadores o por maceteros.

A continuación se han reflejado en una tabla los principales sistemas, realizando un aparte para los LWS (Living Wall Systems), con algunos sistemas comerciales representativos de cada tipo. Se debe tener en cuenta que debido al rápido crecimiento de estos sistemas por parte de las casas comerciales, la tabla no es más que un mero muestrario de las soluciones más representativas.

<b>SISTEMAS VEGETALES VERTICALES</b>	<b>3.1. FACHADAS</b>  <b>VEGETALES TRADICIONALES</b> (GREEN FACADES)  Vegetación plantada en el suelo	<b>3.1.1. SISTEMA DIRECTO</b> (Usa la fachada como guía)	Trepadoras autoadherentes	Con raíces aéreas  Con ventosas	
		<b>3.1.2 SISTEMA INDIRECTO</b> (Sistema intermedio entre las plantas y la fachada usado como guía)	Trepadoras autoadherentes	Trepadoras con raíces aéreas Trepadoras con ventosas	
			Trepadoras con sistema de soporte	Trenzado, Enrejados	
				Plantas con zarcillos	
	<b>3.2. "MUROS VIVOS"</b> (Agua y nutrientes aportados desde la propia fachada)	<b>3.2.1 SISTEMA DIRECTO</b> (Usa la fachada como guía)	COMBINADO CON MACETEROS: Trepadoras autoadherentes	Trepadoras con raíces aéreas  Trepadoras con ventosas	
				Plantas herbáceas y leñosas  Plantas herbáceas	
			Hormigón vegetal		
		<b>3.2.2 SISTEMA INDIRECTO</b> (Sistema intermedio entre las plantas y la fachada: espaciadores, maceteros, sistema de soporte)	Trepadoras con sistema de soporte  Fachada vegetal invernadero y panel deslizante vegetal	Trenzado	
				Plantas con zarcillos	
			<b>LWS (Living Wall Systems)</b>		

Tabla 1. Clasificación de los sistemas vegetales verticales (Basada en Ottelé y A.Mir)

	CLASIFICACIÓN		SISTEMAS COMERCIALES	IMAGEN CONCEPTUAL DEL SISTEMA
	LWS (Living Wall Systems)	<b>A) SISTEMAS CON SUSTRATO PESADO (GAVIONES, MACETEROS, CONTENEDORES)</b>  (Autoportante o colgado)		<u>Eco-bin</u>  <u>Leaf Box</u>  Greenwaves system
<b>B) SISTEMAS CON SUSTRATO LIGERO (SISTEMA DE BANDEJAS)</b>		1.PANELES PLÁSTICOS	Parabienta  <u>VGM Green Wall</u>	
		2.PANELES METÁLICOS	<u>Green Living Walls</u>	
<b>C) SISTEMAS HIDROPÓNICOS</b>		1.ESPUMAS (FOAM)	<u>Sistema F+P</u>  Living EcoWall®  Fytowall-Phytogreen	
		2.FIELTROS GEOTEXTILES	<u>Le mur vegetal (Patrick Blanc)</u>	
		3.LANAS MINERALES	<u>GSky Pro Wall System</u>	
		3.FIBRAS	Sistemas Wallflore	
4.SISTEMA AEROPÓNICO		Richard Stoner (Nasa)  <u>Sistema nébula</u>		

Tabla 2. Clasificación de los LWS. A partir de Garrido, 2011.

A continuación se va a realizar una descripción de cada uno de los sistemas, así como de algunos de los sistemas comerciales más relevantes. Al final de este apartado se recogen en una tabla a modo de resumen las características principales de los diferentes tipos.

### 3.1 FACHADAS VEGETALES TRADICIONALES (GREEN FACADES)

En este tipo de sistema las plantas tienen sus raíces en el suelo y según si el sistema es directo o indirecto crecen ascendiendo directamente sobre la fachada o con un sistema intermedio.

Estos tipos de sistemas tienen un crecimiento lento (de varios años). No es necesario sistema de riego, ya que las plantas toman los recursos necesarios del sustrato natural.

En el caso del sistema directo, las trepadoras deben de ser capaces de ascender por la fachada por sus propios medios, es decir, deben ser capaces de adherirse en su ascenso al paramento.



Imagen 9. DE IZQUIERDA A DERECHA (Minke, 2012):

Raíces aéreas, Hedera Helix (Hiedra)      Ventosas, Parthenocissus (Vid silvestre)

Enredaderas como la Wisteria sinesis (Glicina) se tuercen helicoidalmente

Wisteria sinesis (Vid común) tuerce los tallos de las hojas o los retoños alrededor de alambres u otros apoyos

Otras variedades de plantas que no disponen de agarres para seguir creciendo hacia arriba generan retoños que cuelgan, como la Thunbergia mysorensis o la Parthenocissus quinquefolia (Vid silvestre).



Imagen 10. Plantas colgantes: Thunbergia mysorensis    Imagen 11. Trepadoras autoadherentes: Hedera Helix (Hiedra)

Para aquellas especies que no poseen propiedades adherentes, se pueden instalar sistemas como enrejados modulares, sistemas de alambres trenzados o cables.



Imagen 12. Enrejados modulares, Green roof organisation



Imagen 13. Alambres trenzados, Ducati Office, Italia

## 3.2 MUROS VIVOS

Estos sistemas aportan el agua y los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas desde la propia fachada. Al igual que en el caso anterior, se dividen en directos e indirectos.

### 3.2.1 SISTEMAS DIRECTOS

#### Maceteros

En este caso las plantas crecen en contenedores intermedios, situados en la parte inferior de cada nivel de planta o en la cubierta, formando sistemas colgantes. Este sistema necesita un aporte continuo de agua porque las plantas ya no se encuentran en contacto directo con el suelo. Su crecimiento es lento y está limitado por el espacio que tienen las raíces para crecer en los maceteros.

#### Muros con vegetación natural

Este tipo de envolvente vegetal surge espontáneamente entre las juntas de los elementos discontinuos o en paramentos continuos en estado de disgregación y es fácil de encontrar en edificios antiguos, castillos o muros sombríos.



Imagen 14.



Imagen15. Fachada de granito

### Muros con vegetación artificial



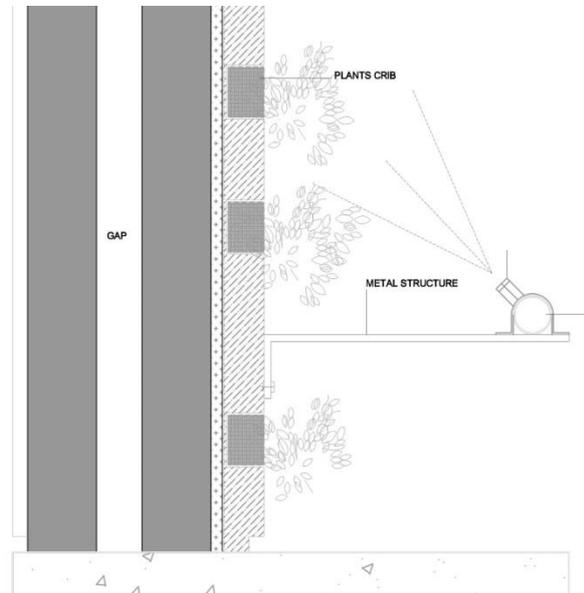
Imágenes 16 y 17. Paneles de bolos de hormigón (Growcrete)

En este sistema las plantas crecen intencionadamente en el sustrato entre los elementos. Si se sitúan los paneles con un cierto grado de inclinación, se aprovecha en mayor medida el agua de lluvia reduciendo las necesidades de riego. El número de especies que son compatibles con el hormigón es limitado, debido al alto PH de este.

### Hormigón vegetal o biológico

Este sistema se basa en la utilización de un hormigón permeable, que posee una serie de cavidades donde crecen las plantas. Entre la hoja interior (generalmente también de hormigón) y el hormigón polímero se sitúa una lámina impermeable, que protege a la hoja interior. Mientras que la hoja interior tiene un PH alrededor de 8 (portland convencional) el exterior es ligeramente ácido (a base de fosfato de magnesio) y se comporta como un soporte capaz de retener la humedad y que propicia naturalmente el crecimiento y el desarrollo de ciertos organismos como algas, hongos o líquenes mediante un proceso natural de colonización. (Sala de prensa UPC)

El riego del sistema se realiza por conducciones exteriores, reutilizando el agua de lluvia.

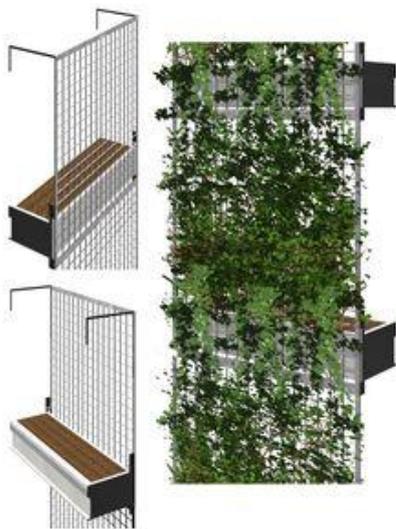


Imágenes 18 y 19. Hormigón vegetal: Triptyque: Harmonia 57. São Paulo, 2008

### 3.2.2 SISTEMAS INDIRECTOS

#### Trepadoras con sistema de soporte

En este caso los contenedores, situados generalmente a nivel de cada planta, se separan de la fachada creando una doble piel mediante sistemas de enrejados o cables ya vistos anteriormente.



Imágenes 20 y 21. Jakob Rope Systems

## Fachada vegetal invernadero

La fachada vegetal consiste en un cerramiento de fachada concebido como un invernadero extraplano que incluye un subsistema constructivo vegetal. El sistema funciona como ventilación higiénica, ventilación térmica y protección solar. (Alonso, 2009)

- Capa exterior. Formada por lamas regulables.
- Capa intermedia vegetal. Compuesto por jardinera metálica con sistema de riego automático por inmersión y control por temporizador y cableado de acero de desarrollo helicoidal como soporte de especies vegetales.
- Capa interior. Ventana corredera de dos hojas.

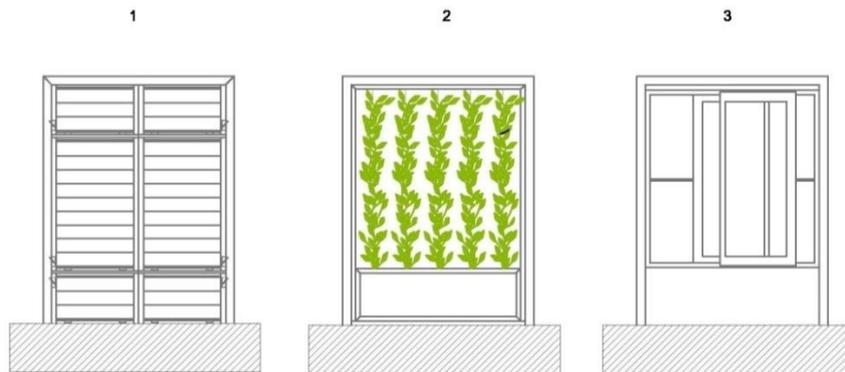
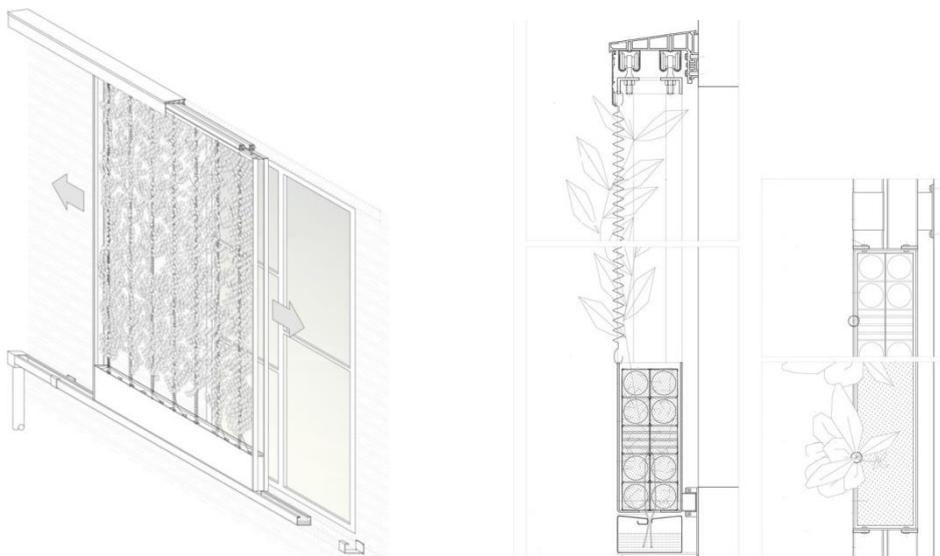


Imagen 22. Capas exterior, intermedia e interior. (Alonso, 2009)

## Panel deslizante vegetal

El sistema constituye una protección solar móvil para huecos de fachada que incorpora una jardinera de chapa de aluminio plegada, que contiene especies trepadoras, preferentemente de hoja caduca. Los maceteros deslizan solidariamente con el panel, por lo que se deben plantar especies que necesiten poco sustrato para no incrementar excesivamente el peso del sistema. Una serie de cables helicoidales posibilitan el crecimiento de las trepadoras. (Alonso, 2009)



Imágenes 23 y 24. (Alonso, 2009)

## Living Wall Systems (LWS)

Entrando en esta clasificación dejamos atrás los sistemas más tradicionales para dar paso a soluciones en las que las plantas crecen a cierta distancia de la fachada, mediante sistemas que permiten su crecimiento formando envolventes vegetales con aspecto continuo. Son aplicables a entornos tanto exteriores como interiores.

Pueden ser construidos prácticamente en cualquier localización, ya que debido a las características del sistema permiten incorporar especies que no necesitan tener capacidades de adherencia (trepadoras) ni ser colgantes, abriendo un abanico de nuevas posibilidades. De esta forma pueden construirse en climas muy soleados, nórdicos, tropicales y climas templados.

La incorporación de mayor número de especies vegetales permite la recreación de ecosistemas naturales, en los que hay que cuidar la relación entre los diferentes tipos de plantas. Además permite plantar especies que cumplan requerimientos específicos según el entorno urbano.

Debido a la diversidad y densidad de vida vegetal, los LWS requieren cuidados y mantenimiento más intensivos (riego continuo, nutrientes, fertilizantes). Es común integrar los sistemas de riego en los sistemas modulares (gaviones, sistemas tipo bandeja). Existen sistemas automáticos de control de la cantidad de agua y nutrientes necesarios, que facilitan en gran medida el mantenimiento. Pueden ser controlados por centralita desde la empresa instaladora del sistema.



Imagen 25. Patrick Blanc, jardín vertical en París (Calles Aboukir y the Petits Carreaux)

Imagen 26. Sistema de control automático, edificio Ford en Amsterdam (Middelle)

Además del uso de agua de la red, también es posible almacenar el agua de lluvia, en función del grado de sustancias contaminantes y esporas presentes en esta. Dicha agua debe ser filtrada y requiere un espacio específico de almacenamiento, junto con el necesario para el sistema de bombeo, por lo que en ocasiones su uso puede no ser la solución más adecuada. Se debe tener en cuenta además que los proyectos que cuentan con varias fachadas vegetales, cada una con una orientación concreta, tendrán necesidades diferentes y por lo tanto los sistemas de riego deben poder ser regulados de forma independiente. Es obvio que el consumo de agua de una fachada sur no será el mismo que una orientada a norte y variará según las circunstancias climatológicas.

Los principales tipos de LWS son los de sustrato pesado (gaviones), los de sustrato ligero (sistemas tipo bandeja), los hidropónicos y los aeropónicos.

A continuación:

- SISTEMAS CON SUSTRATO PESADO
- SISTEMAS CON SUSTRATO LIGERO (BANDEJAS MODULARES)
- SISTEMAS HIDROPÓNICOS
- SISTEMAS AEROPÓNICOS
- APLICACIONES: AIRE ACONDICIONADO VEGETAL

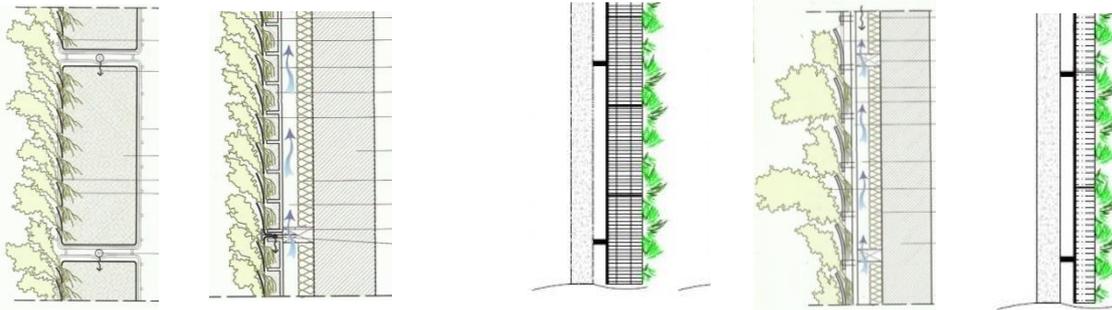


Imagen 27. Sistemas de sustrato (izda.) e hidropónicos (dcha.) (Ottelé, 2011)

## A. SISTEMAS CON SUSTRATO PESADO

### Sistema eco-bin



La característica principal del sistema es el medio de plantación, constituido por una fábrica de celdas cerámicas, cuya inclinación junto a la combinación de sustratos específica permite almacenar agua durante un largo periodo de tiempo.

La concepción de este jardín vertical se aleja de los complejos sistemas automatizados de jardinería vertical, si bien es cierto que requiere un mantenimiento más personalizado, esta tipología acerca la posibilidad de tener un jardín vertical a un nivel más doméstico. El tipo de vegetación seleccionada requiere muy poca agua y mínimo mantenimiento. El propio usuario es capaz de sustituir las plantas sin conocimientos especializados.

Aunque se puede utilizar en todo tipo de climas, eco-bin es un sistema que destaca por su buen comportamiento en climas áridos y semiáridos con elevado soleamiento.



Imágenes 28 (página anterior) y 29. Jardín vertical en Ibiza. Sistema eco-bin. Funciona como barrera acústica entre una discoteca y unos apartamentos.

La película Ug-OMS aplicada sobre las celdas cerámicas es una película hidrófila que mantiene el agua de riego adherida al jardín y facilita la captación de agua atmosférica (niebla o rocío). Como valor añadido los huecos cerámicos actúan como cámaras que convierten a este sistema en una barrera de absorción acústica.

Sobre el muro se coloca una membrana de poliuretano, sobre la que se van colocando las celdas cerámicas hidrofugadas inclinadas de 7 a 15° sobre la horizontal. Las celdas cerámicas se fijan al muro mediante mortero y conectores de alambre de acero inox. y pueden albergar hasta 80 plantas/metro cuadrado. El sistema de riego se basa en una distribución sectorizada de líneas de goteo autocompensante con goteos de 4 litros/hora y separación de 3 metros entre líneas.

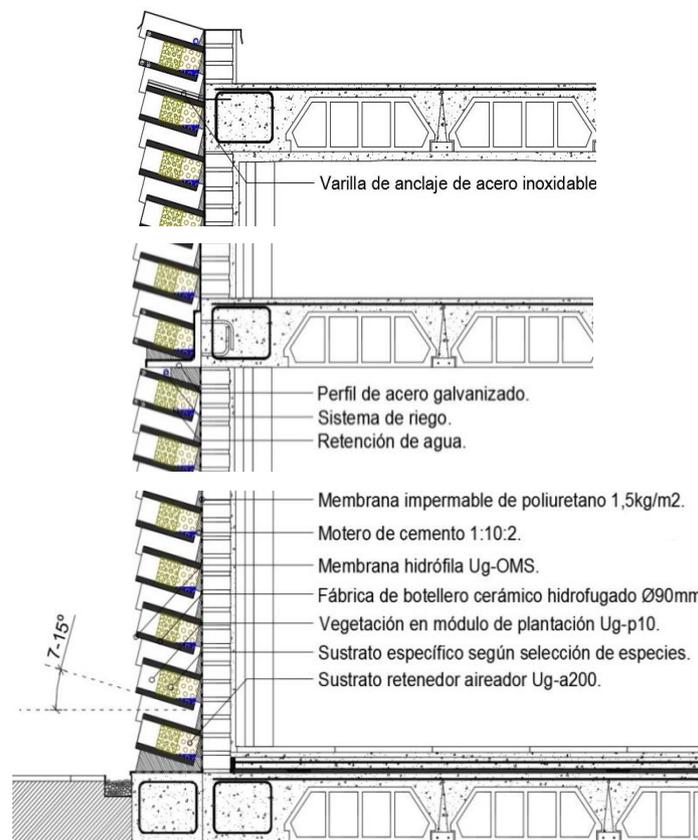


Imagen 30. Detalle constructivo sistema eco-bin

## Sistema leaf-box

Se trata de un sistema de paneles modulares rellenos de sustrato vegetal con un espesor de 10 a 15cm instalados sobre bastidores de aluminio. La naturaleza y durabilidad del sustrato utilizado permite una simplificación del sistema de fertirrigación, facilitando el mantenimiento del jardín sobretodo en instalaciones particulares.

Este sistema permite la instalación de paneles preplantados con variedades de sedum, obteniendo una superficie verde desde el primer momento de la instalación o la plantación de especies vegetales una a una según diseño.

Permite una densidad de hasta 40 plantas / metro cuadrado.

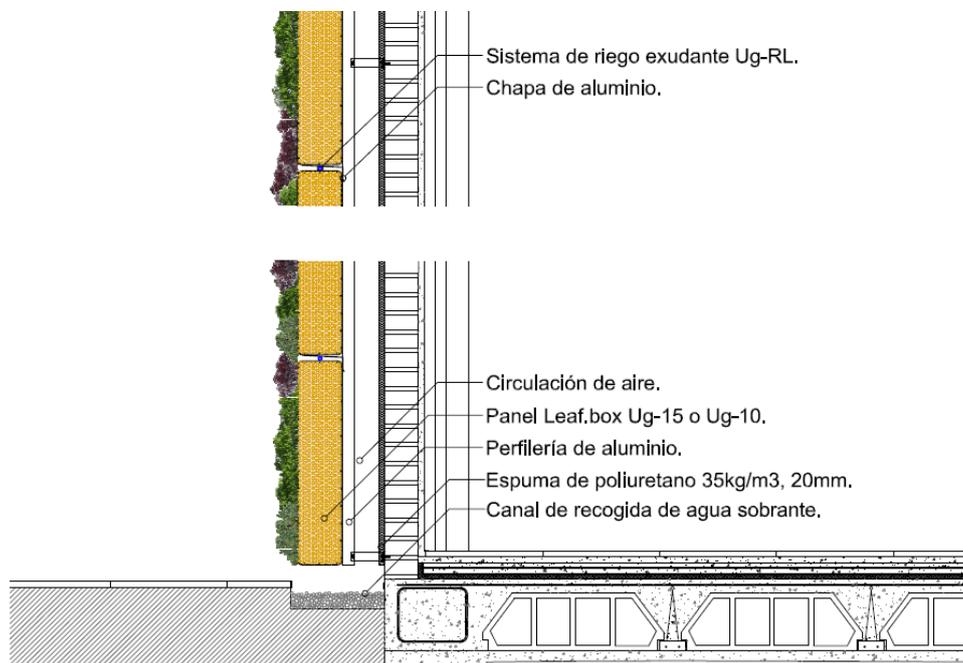


Imagen 31. Detalle constructivo sistema leaf-box

## B. SISTEMAS CON SUSTRATO LIGERO (BANDEJAS MODULARES)

### Paneles plásticos

#### VGM Green Wall (Elmich)

Está formado por paneles modulares de polipropileno de 60 x 50cm, con 15 o 25 mm de espesor. Se fijan mediante un entramado de perfilaría en dirección vertical y horizontal. En el interior de cada panel el sustrato es retenido por un fieltro en el que se practican rasgaduras para introducir las plantas. El sistema de riego es por goteo, intercalado entre los módulos.

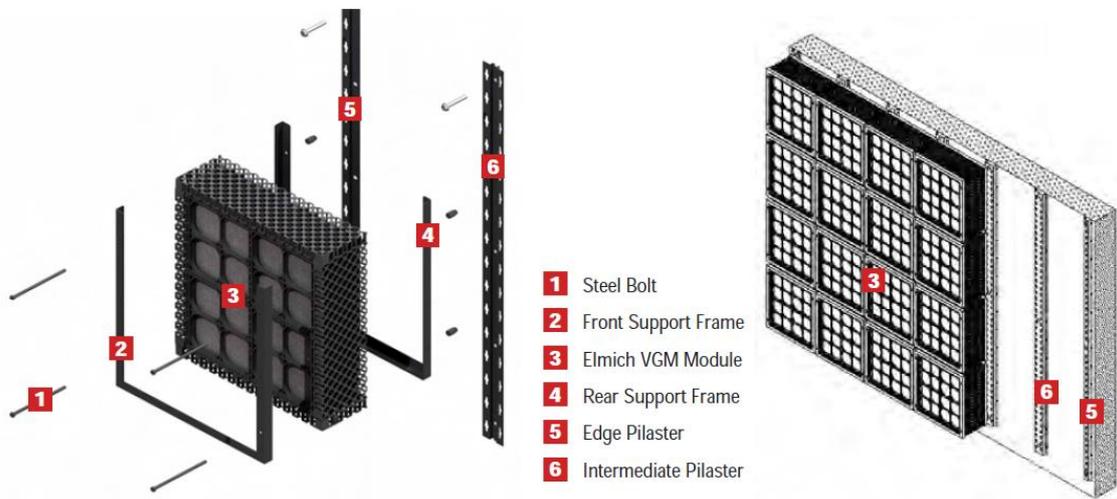


Imagen 32. VGM Green Wall. 1-Pasadores de acero, 2-Marco frontal, 3-Módulos de polipropileno, 4-Marco posterior, 5-Perfil vertical de borde y 6-Perfil vertical intermedio.



Imagen 33. Sunway Vivaldi, Malasia.

## Paneles metálicos

### Green living walls

Se trata de un sistema formado por paneles de acero inoxidable o aluminio, disponible en varios tamaños (60\*60\*7 cm, 30\*60\*7 cm y 30\*30\*7 cm), que se instalan sobre una serie de perfiles dispuestos tanto vertical como horizontalmente. Terminan de conformar el sistema un fieltro de fibras de poliéster al que se le practican rasgaduras para alojar las plantas y un material aislante situado en el extremo interior del conjunto.

## C. SISTEMAS HIDROPÓNICOS

### C.1. Espumas (Foam)

#### Sistema F+P

Está desarrollado por la empresa Unarbolismo (grupo UnusualGreen) y consiste en un trasdosado de paneles de PVC anclados sobre bastidores. Una doble capa sintética sin tejer hace de retención de las plantas. Como sustrato se coloca una espuma a base de poliéster-algodón.

Es un sistema de bajo peso (25-30kg/m<sup>2</sup> saturado), con una velocidad de montaje de 100m<sup>2</sup> en 10 días aprox. Las especies se plantan y sustituyen con facilidad ya que se pueden plantar y extraer de forma independiente. El sistema de riego se sitúa entre la capa de material no tejido, lo que permite un fácil acceso. El espesor total del sistema ronda los 20cm, con 40 plantas/m<sup>2</sup>.

El sistema f+p crea un ecosistema que potencia el arraigo y crecimiento de las plantas, esto permite la colonización espontánea de nuevas especies mejorando la interacción ecológica con el entorno. El sistema de riego es automatizado y gestionado mediante telecontrol. Variando las características de la solución hidropónica se reduce la necesidad de podas.

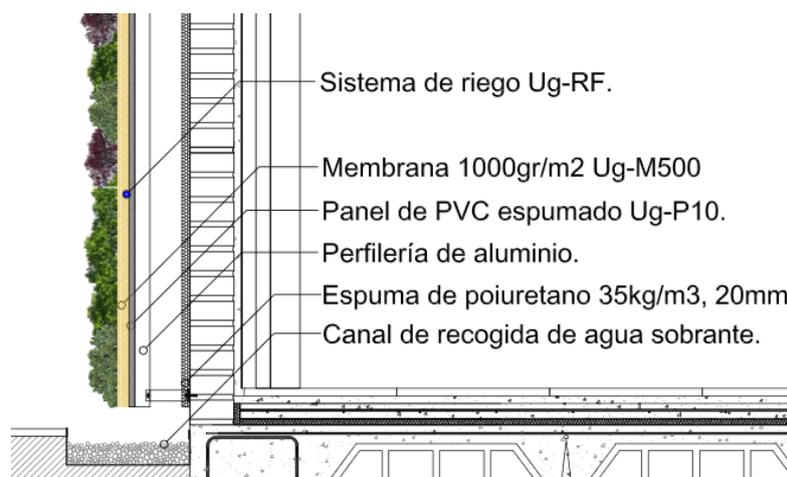


Imagen 34. Detalle constructivo F+p



Imágenes 35 y 36. Jardín vertical f+p en Denver, Colorado.



Imagen 37. Fotos del proceso de montaje, en la imagen se observa cómo se realizan las rasgaduras manualmente para alojar las plantas.



Imagen38. Sistema F+P, Jardín vertical educativo en Mallorca

## C.2. Filtros geotextiles

### Le mur vegetal (Patrick Blanc)

El Muro Vegetal es fruto de las numerosas observaciones realizadas en la naturaleza por Patrick Blanc, biólogo pionero en los sistemas hidropónicos. Algunas plantas crecen sobre soportes desprovistos de tierra, aunque cubiertos de musgos, tales como las rocas, los troncos de los árboles o los lechos pedregosos de los ríos. Estas plantas se encuentran en medios bastante húmedos y regularmente "regados" por las lluvias. Sus raíces, fijadas superficialmente a estos soportes, captan el agua que fluye por la superficie.

Dichas observaciones son las que llevaron a Patrick Blanc a concebir sistemas en los cuales pudieran crecer las plantas sobre soportes verticales, sin la necesidad de sustrato.

El sistema está formado por un entramado de rastreles, la mayoría verticales, que conforman una cámara de unos 5 cm donde se dispone el aislamiento. Completan el sistema una capa de PVC impermeable de 1cm de espesor y dos capas grapadas a esta de fieltro de poliamida con rasgaduras, que son las que aguantan el peso de las plantas (en torno a 20-40 plantas por m<sup>2</sup>). El riego se realiza a través de tubos de polipropileno perforados colocados en horizontal y en la parte inferior del sistema se recoge el agua sobrante. El sistema está programado por electroválvulas, acopladas a un distribuidor de solución nutritiva poco concentrada.



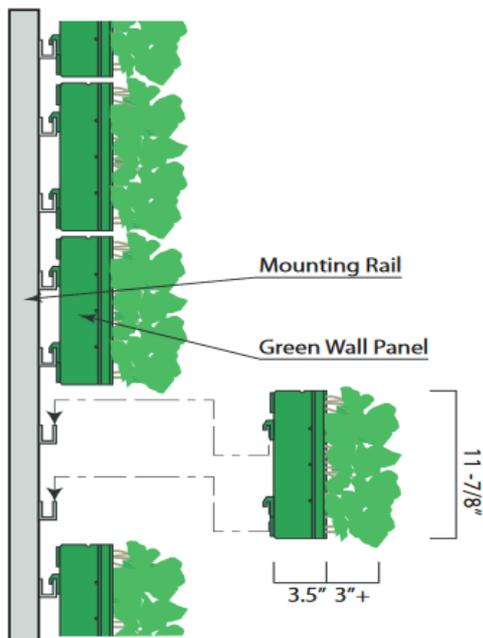
Imágenes 39, 40 y 41. Alpha Park 2, Les Clays sous Bois, Francia. Antes y después de la instalación del sistema.

### C3. Lanas y fibras

#### Sistema GSKy Pro Wall

Está desarrollado por ambius. Consta de 5 componentes principales:

- 1-Bastidores de acero inoxidable
- 2-Paneles de acero inoxidable, de dimensiones personalizables
- 3-Medio en el que crecen: lana de roca
- 4-Plantas, preplantadas en unas celdas
- 5-Sistema monitorizado de irrigación y fertilización



Imágenes 42, 43 y 44. Sistema GSKy Pro-wall.

## C.4. Sistemas aeropónicos

### Sistema Nébula

El sistema de fachada vegetal Nébula está formado por una agrupación de plantas aéreas llamadas tillandsias. Esta familia de plantas obtiene el agua y los nutrientes que necesita del aire, por lo que las necesidades de riego son mínimas y no es necesaria aportación de nutrientes.

La principal ventaja de este sistema es el mínimo mantenimiento que se puede realizar mediante pulverizadores manuales o con nebulizadores, esta última opción crea alrededor del jardín vertical una pequeña nube de niebla. Se trata de un sistema especialmente recomendado para situaciones donde no se pueda tener acceso a las instalaciones de agua.

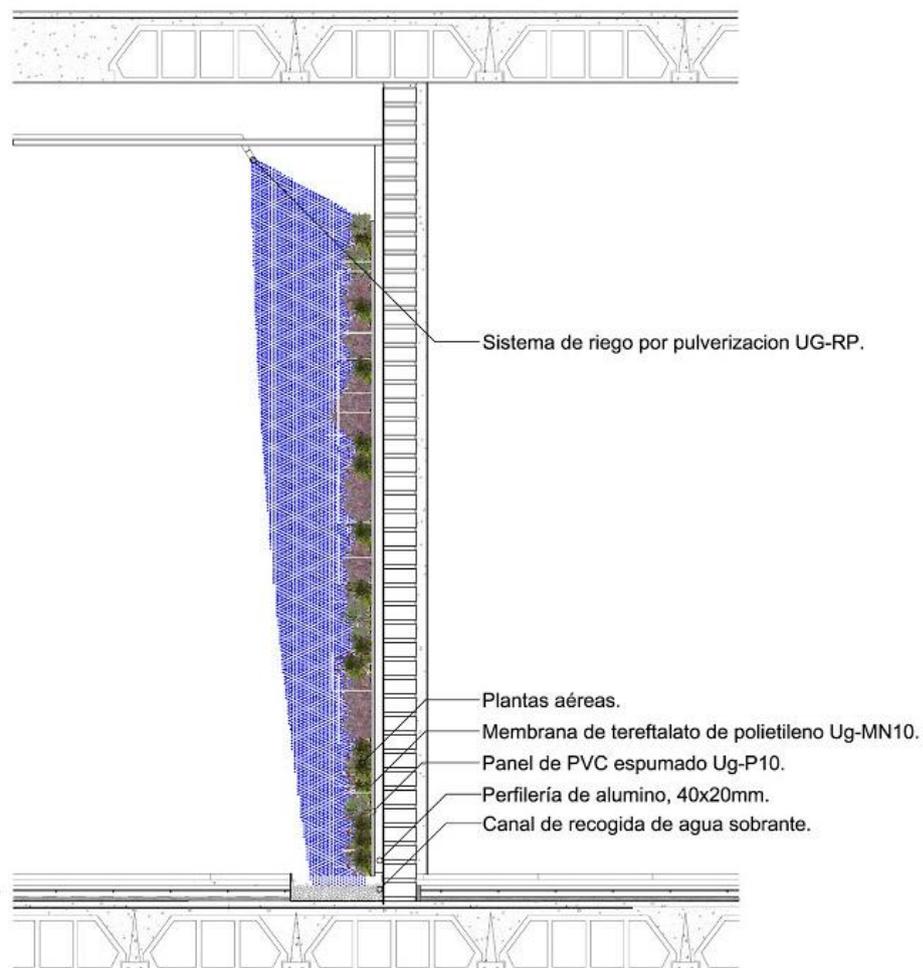


Imagen 45. Sistema Nébula (Base similar al sistema f+p)

## APLICACIONES: AIRE ACONDICIONADO VEGETAL

Este sistema, desarrollado por el grupo Unusual Green, ofrece el valor añadido de actuar como aire acondicionado y filtro de aire del espacio donde se instala.

El aire se recircula a través del sistema de ventilación y se devuelve a la habitación a través de la fachada vegetal pasando a través del sustrato plantado y de la vegetación. Su consumo energético es notablemente menor que el de un sistema de aire acondicionado tradicional. El sistema de conducciones es idéntico, con la diferencia de que el aire se recircula a través de un jardín vertical en lugar del split.

El funcionamiento está basado en la evapotranspiración de las plantas, al hacer circular el aire a través del jardín vertical las plantas provocan un descenso de la temperatura ambiente. Todo este enfriamiento se realiza mediante aporte de humedad al aire por lo que se genera un ambiente saludable.

Cada jardín vertical posee una gran capacidad de fijar CO<sub>2</sub> y liberar oxígeno. Además, determinadas especies vegetales utilizadas en este sistema absorben contaminantes específicos como el formaldehído, el benceno, el tricloroetileno y también monóxido de carbono, que son causantes de diversos problemas de salud.

El síndrome del edificio enfermo producido por la recirculación del aire en el interior del edificio con el objetivo de ahorrar energía produce una acumulación de contaminantes en el aire recirculado. Los purificadores de aire más modernos utilizan filtros de zeolita y otros materiales para absorber estos contaminantes, sin embargo la compra de estos filtros y su mantenimiento resultan extremadamente caros si los comparamos con la adquisición y mantenimiento de plantas.

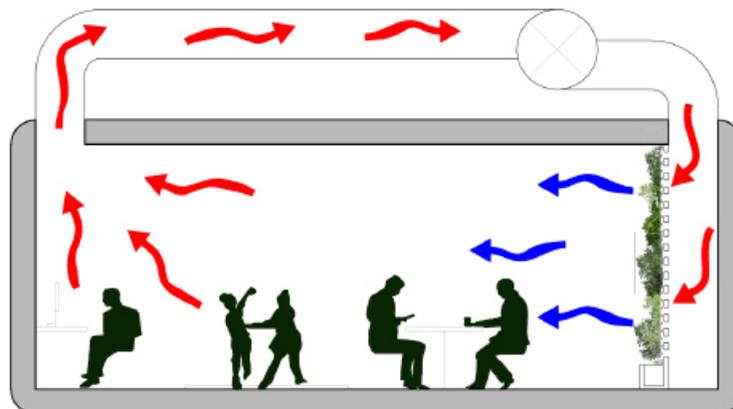


Imagen 46. Esquema del funcionamiento del aire acondicionado vegetal.

Una de las principales ventajas del aire acondicionado vegetal es su capacidad para autorregularse sin necesidad de la intervención del usuario.

La vegetación controla la cantidad de agua que evapora en función de las condiciones ambientales. Las plantas evaporan más agua cuando hace más calor y disminuyen la evapotranspiración cuando hace más frío. Mientras un aparato de aire acondicionado tradicional solo regula la temperatura, el aire acondicionado vegetal regula temperatura y humedad, lo que lo convierte en mucho más beneficioso para la salud y el confort.

La instalación del jardín vertical es tan sencilla como instalar un sistema de pladur: consta de una serie de perfiles metálicos que forman una cámara de aire sobre los que se instala el jardín vertical. Esta capa actúa es el sustrato sobre el que crecen las raíces de las plantas, permanece continuamente húmeda gracias a un sistema de control de humedad y riego por goteo.

El aire caliente se capta de la sala a través de las conducciones de aire mediante un ventilador y se conduce hasta la cámara de aire del jardín vertical, el aire pasa a través del panel perforado, del fieltro húmedo donde se absorben los contaminantes y de las hojas de las plantas donde se produce la evapotranspiración. De esta manera se obtiene una sensación de aire fresco proveniente del jardín.

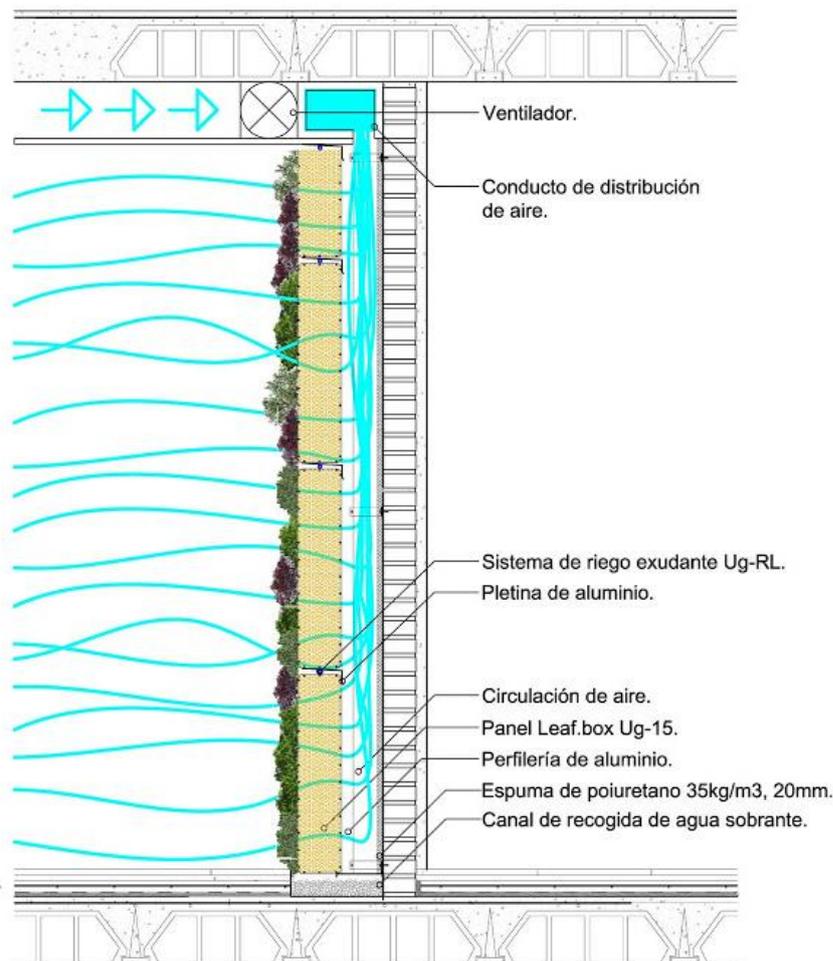


Imagen 47. Detalle aire acondicionado vegetal (Sobre sistema f+p).

TIPO DE SISTEMA	LWS-SUSTRATO	LWS-ESPUMAS	LWS- LANAS MINERALES	LWS-FILTROS GEOTEXTILES	SISTEMAS DIRECTOS	SISTEMAS INDIRECTOS (NO LWS)	SISTEMA INDIRECTO COMBINADO CON MACETEROS ACERO INOX	SISTEMA INDIRECTO COMBINADO CON MACETEROS DE HDPE
<b>TIEMPO CRECIMIENTO (años)</b>	< 1	< 1	< 1	< 1	30	30	2-5	2-5
<b>DENSIDAD (plantas / m<sup>2</sup>)</b>	30	22-25	27	25	<4	<4	<4	<4
<b>PESO DEL SISTEMA (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	>150	100-120	40-60	100	5	6,5	60	25
<b>VIDA PLANTAS (años)</b>	10	3.5	3.5	3.5	-	-	-	-
<b>BIODEGRADABLE</b>	Plantas	Plantas-espuma	Plantas	Plantas	Plantas	Plantas	Plantas	Plantas
<b>PRECIO (€ / m<sup>2</sup>)</b>	400-600	750-1200	500-750	350-750	30-45	37-70	400-700	100-150
<b>GRADO DE PREFABRICACIÓN</b>	Prefabricado	Prefabricado	Prefabricado	Prefabricado/ In situ	In situ	Prefabricado/ In situ	Prefabricado/ In situ	Prefabricado/ In situ
<b>AHORRO ENERGÉTICO EN CALEFACCIÓN /REFRIGERACIÓN EN CLIMAS MEDITERRÁNEOS (1)</b>	6.3 % 43 %	-	-	4 % 43 %	1.2 % 43 %	1.2 % 43 %	-	-
<b>DESCENSO TEMPERATURA AMBIENTAL (1)</b>	4,5 °C	-	-	4,5 °C	4,5 °C	4,5 °C	-	-
<b>MANTENIMIENTO</b>	Medio-Alto	Alto (Poda, reemplazamiento de paneles y plantas anuales)	Alto (Poda, reemplazamiento de paneles y plantas anuales)	Alto (Poda, reemplazamiento de paneles y plantas anuales)	Bajo	Bajo-Medio	Bajo-Medio	Bajo-Medio
<b>PLAZO DE AMORTIZACIÓN (2)</b>	-	-	-	> 50 años	19 años	33 años	35 años	35 años
<b>ESPECIES ADECUADAS</b>	De hoja perenne: <i>Pterospida (Helechos)</i> , <i>Lamium galeobdolon (Arcángel amarillo)</i> , <i>Carex</i> , <i>Alchemilla (Rosáceas)</i> , <i>Hosta</i> , <i>Geraniums (Geranios)</i> , <i>Pachysandra</i>				Trepadoras de hoja perenne: <i>Hedera Helix (Hiedra Común)</i> , <i>Vitis (Vid)</i> , <i>Clematis(Clemátides)</i> , <i>Pyracantha (Espinos de fuego)</i>  Trepadoras caducas: <i>Parthenocissu ("Parra virgen")</i> , <i>Wisteria (Glicina)</i>		De hoja perenne: <i>Laurus nobilis (Laurel)</i> , <i>Pittosporum (Azahar de la china)</i> , <i>Nerium oleander (Adelfa)</i> , <i>Genistee (Retamas)</i>  Trepadoras de hoja perenne: <i>Hedera Helix (Hiedra común)</i> , <i>Vitis (Vid)</i> , <i>Clematis(Clemátides)</i> , <i>Pyracantha (Espinos de fuego)</i> Trepadoras de hoja caduca: <i>Parthenocissus</i> , <i>Wisteria sinensis</i>	

Tabla 3. Resumen de las características de los diferentes sistemas. A partir de Urban Ecosyst, (2013) 16:265–277. Nótese que los precios están elaborados para los Países Bajos. Se muestran a modo de orden de magnitud de cada sistema.

(1) Según Ottelé *et al.* (2011), calculado con Termo 8.0 software.

(2) De acuerdo con Katia Perini y Paolo Rosasco. *Cost-benefit analysis for green façades and living wall system.*

## 4. ESTUDIO ENERGÉTICO

Pocos son los estudios que cuantifiquen el comportamiento térmico de los sistemas de jardines verticales. Uno de los principales impedimentos radica en la dificultad de obtener datos fiables sobre el aporte de aislamiento térmico de la masa vegetal al conjunto del cerramiento.

Los principales factores que influyen en el comportamiento térmico de las envolventes vegetales además del aislamiento del colchón verde son como se ha comentado en el primer apartado la interacción con la radiación solar (durante el proceso de fotosíntesis) y la sombra aportada, el enfriamiento evaporativo y la variación de la incidencia del viento.

### Influencia de la ralentización de la velocidad del viento en la resistencia superficial

De acuerdo con la estandarización actual para el cálculo de la transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el exterior, se asume una velocidad del viento en la superficie para calcular la resistencia térmica superficial de 4 m/s. Para las superficies interiores pasa a ser de 2 m/s, por lo que se obtienen unas resistencias  $R_{se}=0,04 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  y  $R_{si}=0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

**Tabla 1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en  $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$**

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		$R_{se}$	$R_{si}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

Tabla 4. DA DB-HE-1 Tabla 1

La resistencia térmica de un cerramiento se obtiene mediante la suma de las resistencias de las capas que lo conforman:

$$R_T = R_{se} + \sum R_{capas} + R_{si}$$

Y la transmitancia térmica  $U$  ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

En las fachadas con vegetación directa, los estudios (Fraaij *et al*, 2011) demuestran una disminución de la velocidad del viento debida al follaje, con un valor medio de 0.08 m/s. Para los sistemas LWS el valor medio de la velocidad del viento dentro de la cámara de aire pasa a ser de 0.1 m/s. Cuando la velocidad del viento adopta valores inferiores a 0.2 m/s, debido a la contribución del follaje y del resto de elementos implicados (LWS),  $R_{se}$  puede ser readaptado, igualándose a  $R_{si}$ .

De esta forma, el beneficio de resistencia térmica experimenta un incremento de  $0.09 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ , significando un ahorro de energía de las envolventes de los edificios en climas templados y fríos. A este efecto hay que sumar la disminución de la temperatura superficial, efecto especialmente importante en los climas templados.

La resistencia térmica de un cerramiento sin cubrición vegetal:

$$R_T = 0.04 + \sum R_{\text{capas}} + 0.13 = 0.17 + \sum R_{\text{capas}}$$

Con un sistema directo:

$$R_T = 0.13 + \sum R_{\text{capas}} + 0.13 = 0.26 + \sum R_{\text{capas}}$$

y con un sistema de LWS (con resistencia adicional por las capas de la hoja interior):

$$R_T = 0.13 + R_{LWS} + \sum R_{\text{capas}} + 0.13 = 0.26 + R_{LWS} + \sum R_{\text{capas}}$$

En el caso de un sistema indirecto, los valores de resistencia obtenidos son aún mayores, con una velocidad media de 0.39 m/s. El estudio llevado a cabo muestra que la relación óptima entre el espesor de la cámara de aire y la variación de la velocidad del viento se produce para espesores de cámara de 4 a 6 cm. Cuanto más próxima se sitúa la cobertura vegetal respecto a la hoja interior mejores son los resultados térmicos obtenidos.

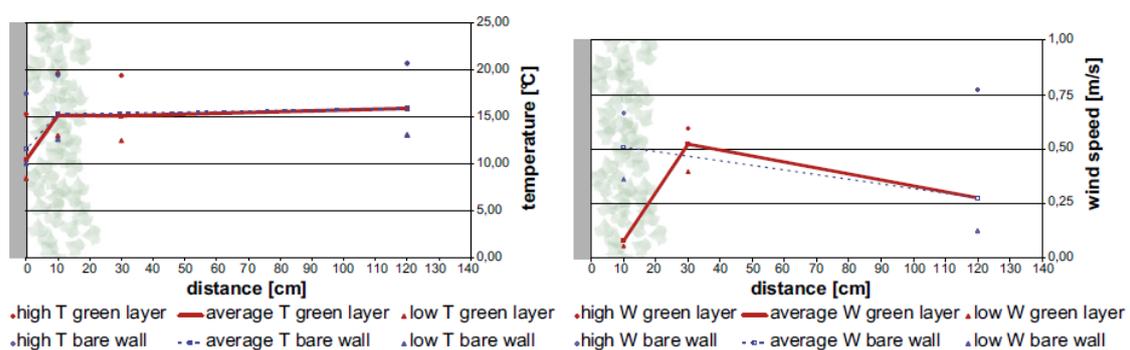


Imagen 48. La primera imagen muestra la distribución de temperatura media en una fachada con sistema directo (línea en color rojo) y en un muro convencional (línea punteada). En la segunda imagen, con los mismos criterios de representación, se muestra la variación de la velocidad del viento en el entorno de la fachada. Perini *et al*, (2011) (según Fraaij *et al*, 2011)

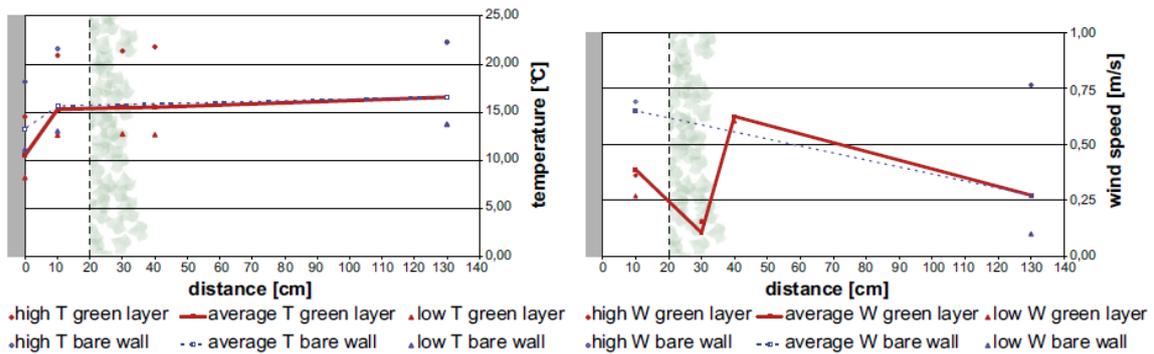


Imagen 48. La primera imagen muestra la distribución de temperatura media en una fachada con sistema indirecto (línea en color rojo) y en un muro convencional (línea punteada). En la segunda imagen, con los mismos criterios de representación, se muestra la variación de la velocidad del viento en el entorno de la fachada. Perini *et al.*, (2011) (según Fraaij *et al.*, 2011)

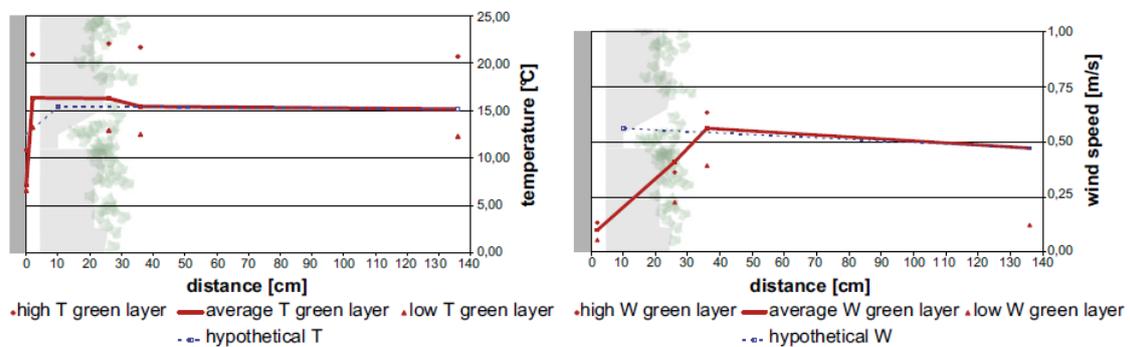


Imagen 49. Perfiles de temperatura y velocidad del viento para LWS. Perini *et al.*, (2011) (según Fraaij *et al.*, 2011)

### Variación de la temperatura superficial y del flujo de aire

El departamento de edificación de la Universidad Nacional de Singapur (Chan *et al.*, 2010) desarrolló un estudio sobre la variación de la temperatura superficial causada por 8 tipos de sistemas de cobertura vegetal, sobre un soporte de 30 cm de hormigón en todos los casos.

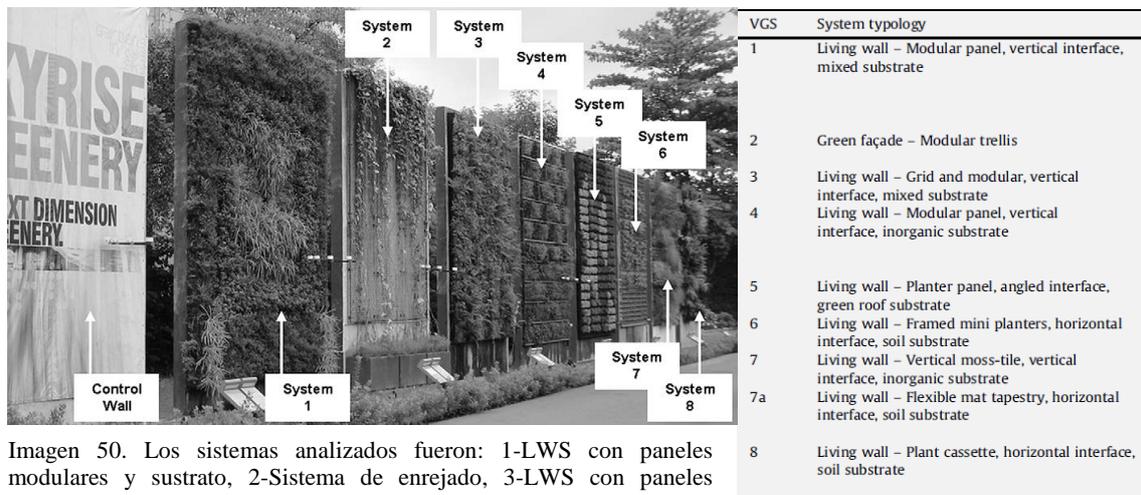


Imagen 50. Los sistemas analizados fueron: 1-LWS con paneles modulares y sustrato, 2-Sistema de enrejado, 3-LWS con paneles modulares sobre subestructura y sustrato mixto, 4-LWS con paneles modulares y sustrato inorgánico, 5-LWS sustrato y paneles inclinados, 6- LWS con sustrato y maceteros individuales, 7-LWS con sustrato inorgánico y contenedores cerámicos, variante 7a-LWS hidropónico entre dos capas de fieltro y 8-LWS con sustrato ligero y plantadores. (Chan *et al.*, 2010)

Se colocaron termopares en la superficie del sistema vegetal y en la cara exterior del muro de hormigón, así como medidores de temperatura y del grado de humedad a 15,60 y 100 cm:

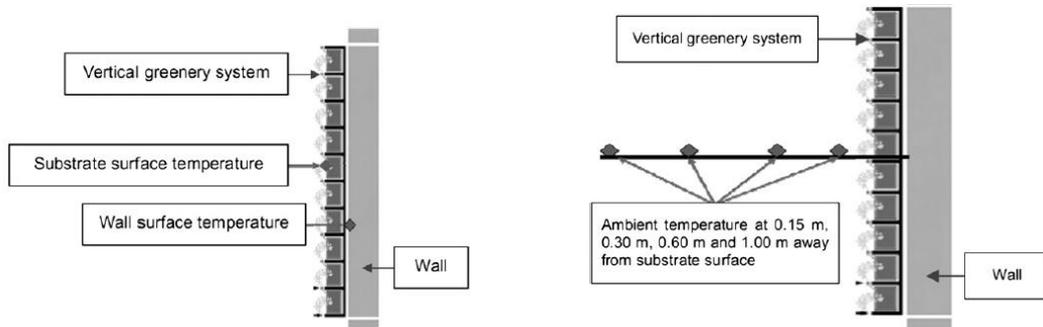


Imagen 51. Situación de los termopares para obtener datos sobre la temperatura superficial del sustrato y del intradós. Imagen 52. Situación de los medidores de humedad relativa y temperatura ambiente. (Chan *et al*, 2010)

Obteniéndose los valores que figuran en los gráficos a continuación (para el solsticio de verano):

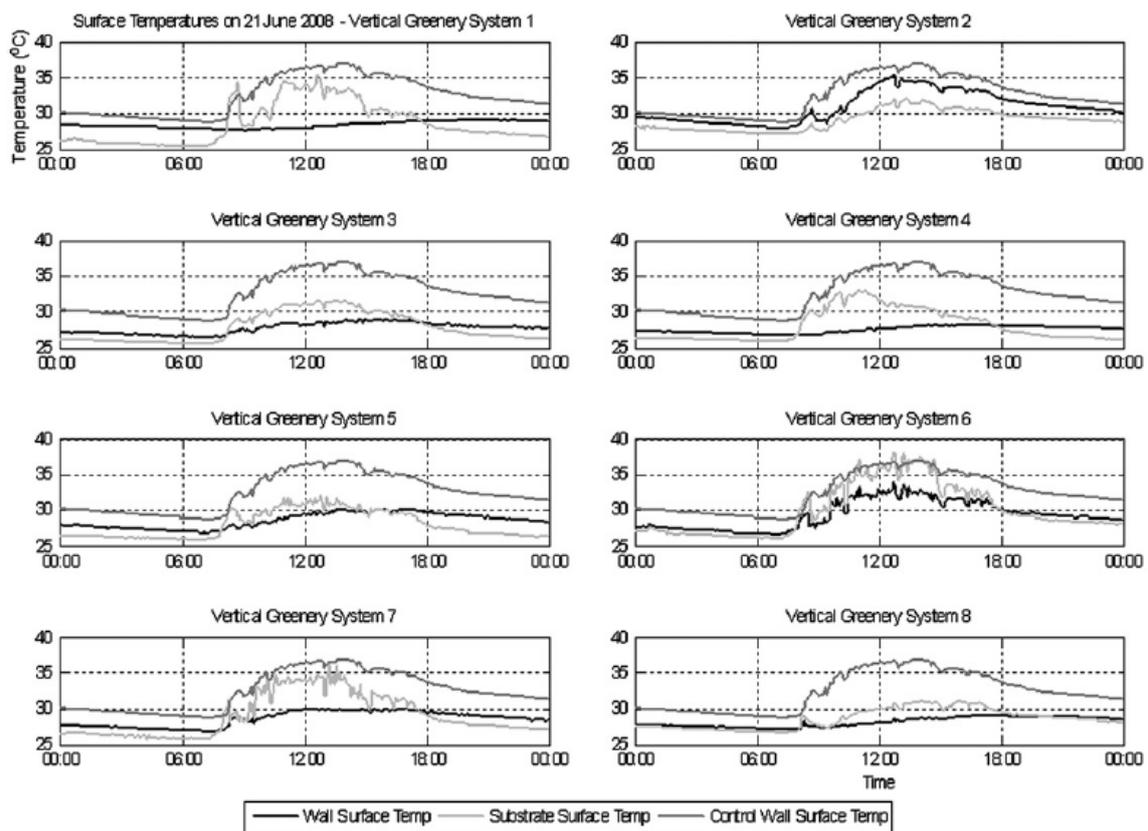


Imagen 53. Temperatura del muro (tono más oscuro), temperatura de la superficie del muro (tono intermedio) y temperatura superficial del sustrato para cada uno de los 8 sistemas analizados (véase imagen 50) (Chan *et al* 2010)

Los sistemas 3 y 4 aportaron los mejores comportamientos térmicos, si bien para el rango medio de variación de temperatura diurna los sistemas 1 y 4 fueron los más eficientes. Los sistemas 3, 4 y 5 mostraron la mayor disminución de la temperatura en la superficie del sustrato. El sistema número 4 fue el más efectivo a la hora de reducir la temperatura del aire próximo, alcanzando un ámbito de hasta 60 cm de influencia.

El estudio, aunque no exhaustivo en cuanto a la parametrización de cada uno de los factores que puedan influir en los resultados (tipo de sustrato, variedad de plantas y tamaño, sombra arrojada, y material compositivo de las láminas o paneles) arroja unos resultados que confirman la ya prevista capacidad de los sistemas para limitar la fluctuación de la temperatura superficial de la hoja interior, fenómeno que prolonga la vida de los cerramientos.

Otro estudio (Eumorfopoulou y Kontoleon, 2008) llevado a cabo sobre un muro de mampostería tradicional y una fachada vegetal tradicional muestran la reducción del rango de temperaturas máxima y mínima diarias sobre esta última, así como el flujo de calor transmitido a través y hacia el espacio interior en ambos sistemas:

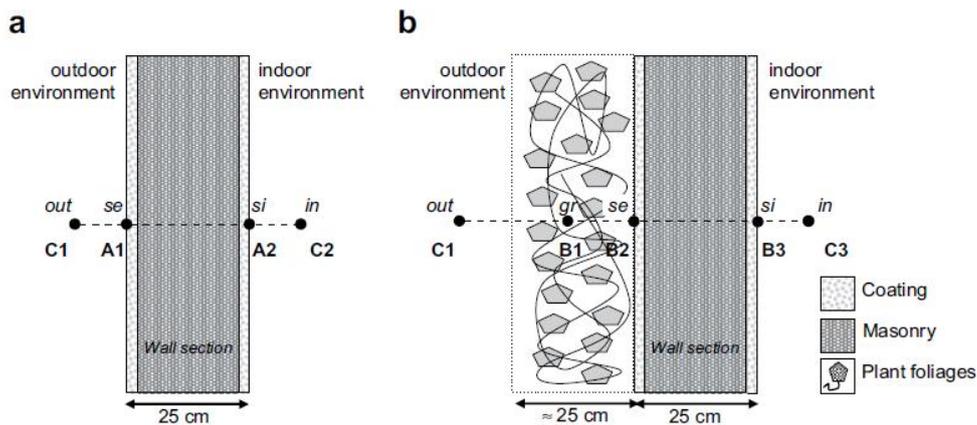


Imagen 54. Secciones tipo de un muro (a) y una fachada vegetal con sistema directo (b). Posición de los sensores.

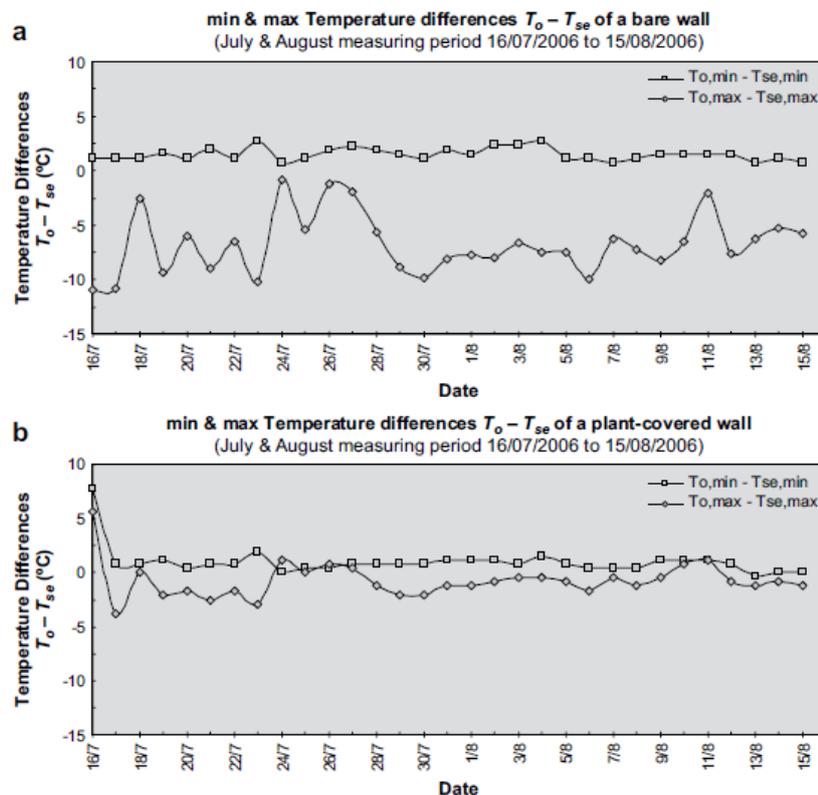


Imagen 55. Variación de temperatura mínima (línea con puntos cuadrados) y máxima (línea con indicadores circulares) entre exterior e interior, medidos en la fachada a y en la fachada b respectivamente. Del 16 de Julio al 8 de Agosto, area de Thessaloniki (Grecia) (Eumorfopoulou y Kontoleon, 2008)

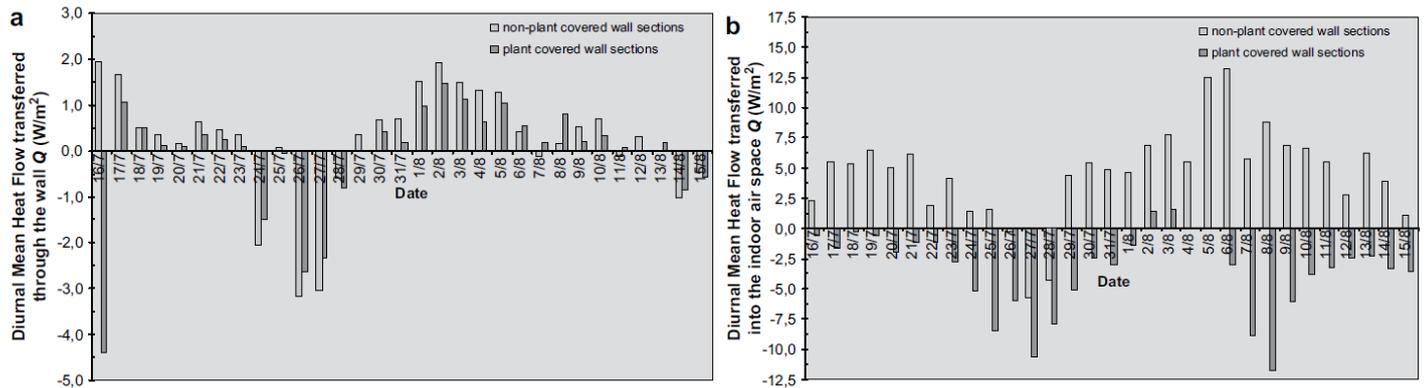


Imagen 56. Flujo de calor transmitido durante el día a través del muro (figura a) y flujo transmitido hacia el espacio interior (figura b). Barras en color más claro para el muro tradicional y barras en color oscuro para el sistema vegetal. Los signos positivo/negativo indican la dirección de la transferencia del flujo, con sentido positivo el flujo va de exterior a interior (sentido no deseado en la estación estival). Se observa la disminución de los valores para el sistema vegetal, adoptando en algunas fechas signo contrario al muro tradicional. Medidas realizadas del 16 de Julio al 15 de Agosto. (Eumorfopoulou y Kontoleon, 2008)

### Conclusión:

La disminución de la velocidad del viento en torno a la envolvente de los edificios debido al uso de una piel vegetal, junto a la variaciones producidas en la temperatura superficial y en el flujo de aire contribuyen positivamente a las propiedades térmicas de dicha envolvente, disminuyendo asimismo el consumo energético. Con la tendencia actual de restringir cada vez más el consumo energético de los edificios, el aprovechamiento de la resistencia aportada por los jardines verticales junto a los aislamientos tradicionales puede convertirse en una útil herramienta para edificios de nueva planta o los existentes que necesiten adaptar el comportamiento térmico de sus envolventes.

A continuación se va a proceder a analizar varias secciones tipo, con el objetivo de cuantificar la transmitancia de cinco de los sistemas establecidos en la clasificación previa (tabla 2, página 11): un sistema de sustrato pesado con gaviones, otro de sustrato ligero y sistemas hidropónicos de espumas, fieltros geotextiles y lanas minerales.

Se estudia la parte del cerramiento que constituye el sistema propiamente dicho y este junto a un soporte (hoja interior), que consta de medio pie de ladrillo macizo más guarnecido interior, a modo de composición típica de una antigua pared medianera.

Se establecen como referencia tres cerramientos sin sistema de jardín vertical, el primero con doble hoja de ladrillo hueco, cámara de aire y aplacado pétreo; el segundo una fachada ventilada con hoja exterior de paneles de aluminio y el tercero de ladrillo caravista sin cámara.

Adoptaremos una resistencia superficial exterior de 0.13, aceptando la disminución de la velocidad del viento debida al follaje. Despreciaremos la resistencia aportada por la capa vegetal, no por su significancia, sino por la falta de datos suficientemente fiables.

Suponemos que las cámaras de aire son ligeramente ventiladas ( $500 \text{ mm}^2 \leq S_{\text{aberturas}} \leq 1500 \text{ mm}^2$ ), para poder cuantificar la resistencia aportada por todas las capas, por lo que la resistencia de la cámara ( $R_c$ ) se toma la mitad de la tabla 2 (DA-DB-HE-1):

Tabla 2 Resistencias térmicas de cámaras de aire en  $\text{m}^2\text{-K/W}$

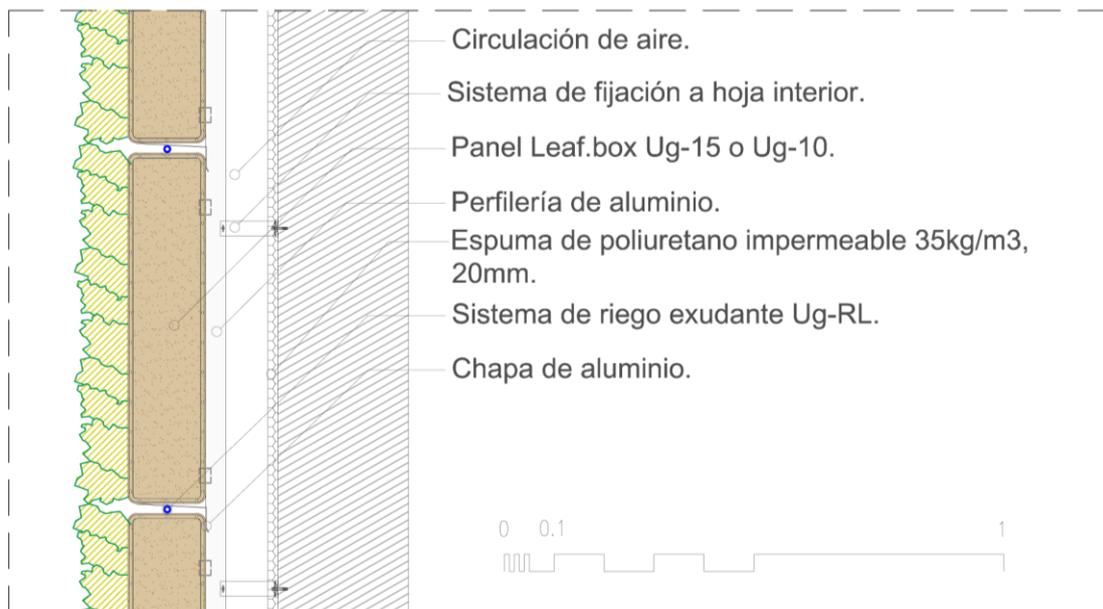
e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

Tabla 5. DA-DB-HE-1 Tabla 2

## CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA DE SECCIONES TIPO

### SISTEMAS DE JARDIN VERTICAL

#### 1. SISTEMA CON SUSTRATO PESADO LEAF BOX



SISTEMA LEAF-BOX (SUSTRATO PESADO)				
DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	CONDUCTIVIDAD (W/MK)	ESPESOR (m)	RESISTENCIA ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )
Rse	0. Aire exterior			0,13
	1. Sustrato (tierra vegetal)	0,52	0,15	0,2885
Rc	2. Cámara de aire ligeramente ventilada		0,05	0,09
PUR	3. Espuma rígida de Poliuretano HFC 35kg/m <sup>3</sup>	0,028	0,02	0,7143
Rsi	6. Aire interior			0,13
ESPESOR				
0,22			RT SISTEMA	1,3527
			UT SISTEMA	0,7392
				1,7099
				0,5848
LM	4b. Ladrillo macizo de medio pie	0,85	0,115	0,1353
RI	5b. Guarnecido de yeso	0,57	0,015	0,0263
E TOTAL LF-B				
			Resistencia total	1,5144
0,35			Transmitancia	0,6603
				1,8715
				0,5343

Tabla 6. Cálculo de la transmitancia del sistema Leaf Box.

## 2. SISTEMA CON SUSTRATO LIGERO, PANELES METÁLICOS GREEN LIVING WALLS



PANELES METÁLICOS GREEN LIVING WALLS (SUSTRATO LIGERO)				
DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	CONDUCTIVIDAD (W/MK)	ESPESOR (m)	RESISTENCIA (m <sup>2</sup> K/W)
Rse	0. Aire exterior			0,13
	1. Sustrato (tierra vegetal)	0,52	0,07	0,1346
	2. Panel de acero	50	0,005	0,0001
Rc	3. Cámara de aire ligeramente ventilada		0,05	0,09
PUR	4. Espuma rígida de Poliuretano HFC	0,028	0,02	0,7143
Rsi	7. Aire interior			0,13
ESPESOR			<b>RT SISTEMA</b>	1,1990
0,145			<b>UT SISTEMA</b>	0,8340
				1,5561
				0,6426
LM	5b. Ladrillo macizo de medio pie	0,85	0,115	0,1353
RI	6b. Guarnecido de yeso	0,57	0,015	0,0263
E TOTAL GLW-B			<b>Resistencia total</b>	1,3606
0,275			<b>Transmitancia</b>	0,7350
				1,7177
				0,5822

Tabla 7. Cálculo de la transmitancia del sistema de paneles metálicos Green Living Walls.

### 3. SISTEMA HIDROPÓNICO CON ESPUMAS F+P

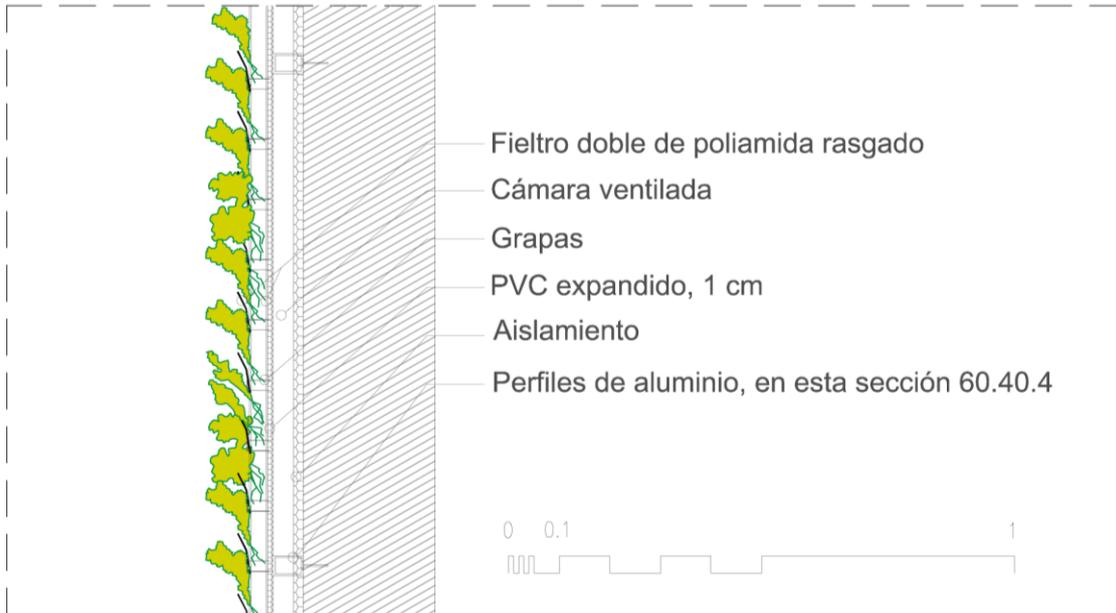


SISTEMA HIDROPÓNICO CON ESPUMAS, SISTEMA F+P				
DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	CONDUCTIVIDAD (W/MK)	ESPESOR (m)	RESISTENCIA (m <sup>2</sup> K/W)
Rse	0. Aire exterior			0,13
	1. Tejido poliéster Ug-M500 ("Sustrato")	0,038	0,05	1,3158
	2. Módulos Ug-P20 de PVC espumado	0,08	0,01	0,1250
Rc	3. Cámara de aire ligeramente ventilada		0,05	0,09
PUR	4. Espuma rígida de Poliuretano HFC	0,028	0,02	0,7143
Rsi	7. Aire interior			0,13
				(3cm PUR)
ESPESOR			<b>RT SISTEMA</b>	2,5051
0,13				<b>UT SISTEMA</b>
				2,8622
				0,3494

LM	5b. Ladrillo macizo de medio pie	0,85	0,115	0,1353	
RI	6b. Guarnecido de yeso	0,57	0,015	0,0263	
E TOTAL FP-B		<b>Resistencia total</b>		2,6667	3,0238
0,26			<b>Transmitancia</b>	0,3750	0,3307

Tabla 8. Cálculo de la transmitancia del sistema hidropónico con espumas f+p.

#### 4. SISTEMA HIDROPÓNICO CON FIELTROS GEOTEXTILES LE MUR VEGETAL (PATRICK BLANC)

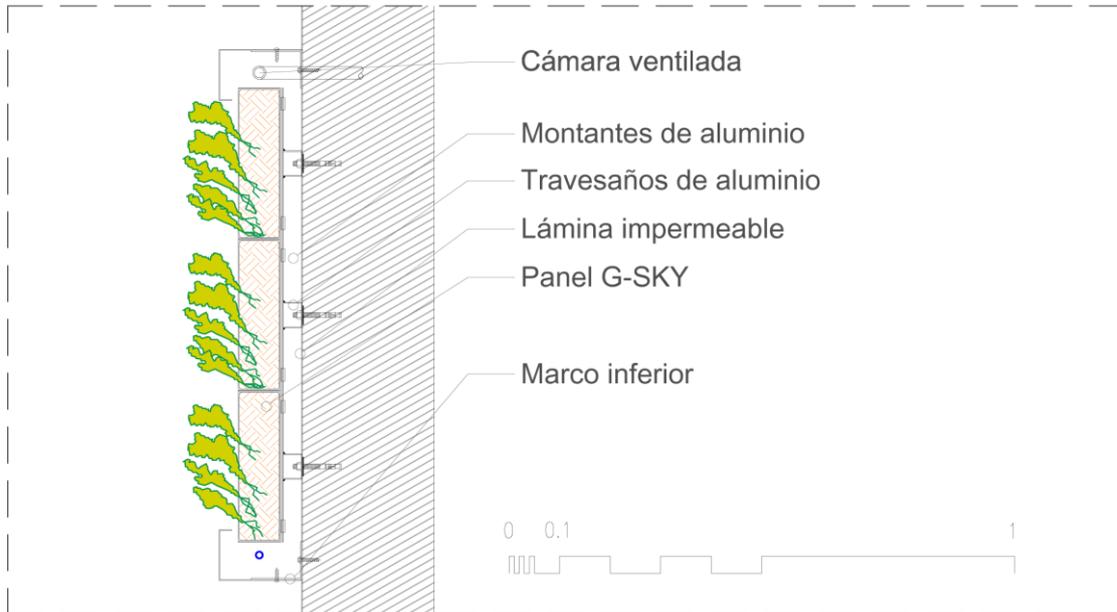


SISTEMA HIDROPÓNICO CON FIELTROS GEOTEXTILES, LE MUR VEGETAL				
DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	CONDUCTIVIDAD (W/MK)	ESPESOR (m)	RESISTENCIA (m <sup>2</sup> K/W)
Rse	0. Aire exterior			0,13
	1. Poliamida (2 capas)	0,25	0,01	0,04
PUR	2. PVC expandido	0,08	0,01	0,1250
Rc	3. Cámara de aire ligeramente ventilada		0,05	0,09
EPS	4. Aislamiento de EPS	0,039	0,03	0,7692
Rsi	7. Aire interior			0,13
ESPESOR			RT SISTEMA	1,2842
0,1			UT SISTEMA	0,7787
				1,6855
				0,5933

LM	5b. Ladrillo macizo	0,85	0,115	0,1353	
RI	6b. Guarnecido de yeso	0,57	0,015	0,0263	
E TOTAL MV-B			<b>Resistencia total</b>	1,4458	1,8471
0,23			<b>Transmitancia</b>	0,6916	0,5414

Tabla 9. Cálculo de la transmitancia del sistema hidropónico Le Mur Vegetal.

## 5. SISTEMA HIDROPÓNICO CON LANA DE ROCA: GSKY PRO WALL SYSTEM



SISTEMA HIDROPÓNICO CON FIBRAS, GSKY PRO WALL SYSTEM				
DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	CONDUCTIVIDAD (W/MK)	ESPESOR (m)	RESISTENCIA (m <sup>2</sup> K/W)
Rse	0. Aire exterior			0,13
	1. Panel G-SKY de acero inox	17	0,005	0,0003
MW	2. Lana de roca	0,031	0,08	2,5806
Rc	3. Cámara de aire ligeramente ventilada		0,05	0,09
	4. Lámina impermeable de PVC		0,002	0,012
Rsi	7. Aire interior			0,13
ESPESOR			<b>RT SISTEMA</b>	2,9429
0,137			<b>UT SISTEMA</b>	0,3398

LM	5b. Ladrillo macizo	0,85	0,115	0,1353
RI	6b. Guarnecido de yeso	0,57	0,015	0,0263
E TOTAL SKY-B			<b>Resistencia total</b>	3,1045
0,267			<b>Transmitancia</b>	0,3221

Tabla 10. Cálculo de la transmitancia del sistema hidropónico de lanas G-Sky Pro Wall.

## SISTEMAS SIN JARDIN VERTICAL

### FACHADA 1

FACHADA DE DOS HOJAS DE LADRILLO HUECO CON APLACADO PÉTREO				
DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	CONDUCTIVIDAD (W/MK)	ESPESOR (m)	RESISTENCIA (m <sup>2</sup> K/W)
Rse	0. Aire exterior			0,04
	1. Aplacado de piedra natural tipo granito	2,8	0,02	0,0071
LH	2. Ladrillo hueco de medio pie	0,32	0,115	0,3594
Rc	3. Cámara de aire ventilada		0,05	0,09
EPS	4. Aislamiento de EPS (Poliestireno expandido)	0,039	0,03	0,7692
LH-7	5. Ladrillo hueco del 7	0,32	0,07	0,2188
RI	6. Guarnecido de yeso	0,57	0,015	0,0263
Rsi	7. Aire interior			0,13
Resistencia total				1,6408
ESPESOR 1	0,3	Transmitancia		0,6095

Tabla 11. Cálculo de la transmitancia de la “fachada 1”

### FACHADA 2

FACHADA VENTILADA HOJA EXTERIOR ALUMINIO				
DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	CONDUCTIVIDAD (W/MK)	ESPESOR (m)	RESISTENCIA (m <sup>2</sup> K/W)
Rse	0. Aire exterior			0,04
	1. Paneles de aluminio	230	0,003	1,30E-05
Rc	2. Cámara de aire ligeramente ventilada		0,05	0,09
EPS	3. Aislamiento de EPS	0,039	0,03	0,7692
LH-7	4. Ladrillo hueco del 7	0,32	0,07	0,2188
RI	5. Guarnecido de yeso	0,57	0,015	0,0263
Rsi	6. Aire interior			0,13
Resistencia total				1,2743
ESPESOR 2	0,168	Transmitancia		0,7847

Tabla 12. Cálculo de la transmitancia de la “fachada 2”

### FACHADA 3

FACHADA SIN CÁMARA DE LADRILLO VISTO (F1.1)				
DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	CONDUCTIVIDAD (W/MK)	ESPESOR (m)	RESISTENCIA (m <sup>2</sup> K/W)
Rse	0. Aire exterior			0,04
LH	1. Ladrillo hueco de medio pie	0,32	0,115	0,3594
R	2. Revestimiento intermedio mortero	1,3	0,015	0,01154
EPS	3. Aislamiento de EPS	0,039	0,03	0,7692
LH-7	4. Ladrillo hueco del 7	0,32	0,07	0,2188
RI	5. Guarnecido de yeso	0,57	0,015	0,0263
Rsi	6. Aire interior			0,13
Resistencia total				1,5552
ESPESOR 3	0,245	Transmitancia		0,643

Tabla 13. Cálculo de la transmitancia de la “fachada 3”

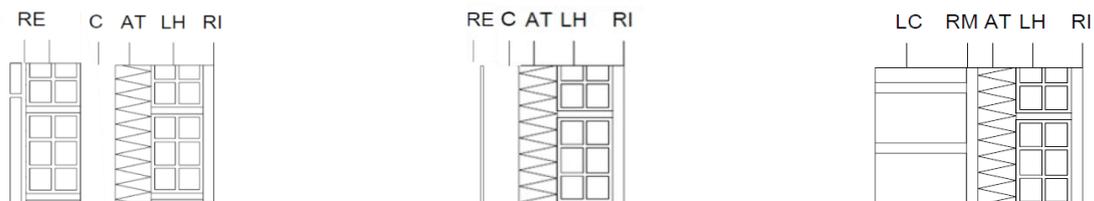


Imagen 57. Composición por capas de las fachadas sin jardín vertical 1, 2 y 3.

## Compilación de los cálculos

En la tabla de la izquierda aparece la relación de espesores (sin contar la vegetación) y transmitancias de los diferentes sistemas, tanto de los tres sistemas que no poseen una cobertura vegetal como de los cinco sistemas de LWS analizados. Se añade el dato de la transmitancia de los sistemas más una hoja de ladrillo hueco de medio pie con revestimiento interior (dato B).

Como se aprecia en el gráfico inferior, los sistemas con mejor relación resistencia térmica y espesor son los que incorporan materiales con capacidades aislantes como medio de crecimiento de las especies vegetales, es decir, el sistema de espumas F+P y el hidropónico de fibras con lana de roca. El sistema LWS más primario (leaf-box), debido a la necesidad de un sustrato convencional para el soporte de las plantas, es el que requiere un mayor espesor para su funcionamiento.

ESPESOR TOTAL (m)	U (W/m <sup>2</sup> K)	
FACHADA 1	0,3	0,6095
FACHADA 2	0,168	0,7847
FACHADA 3	0,245	0,6430
1.LF	0,22	0,7392
1.LF-B	0,35	0,6603
2.GLW	0,145	0,8340
2.GLW-B	0,275	0,7350
3. F+P	0,13	0,3992
3.F+P-B	0,26	0,3750
4.MV	0,1	0,7787
4.MV-B	0,23	0,6916
5.SKY	0,137	0,3398
5.SKY-B	0,267	0,3221

Tabla 14. Resumen de las transmitancias.

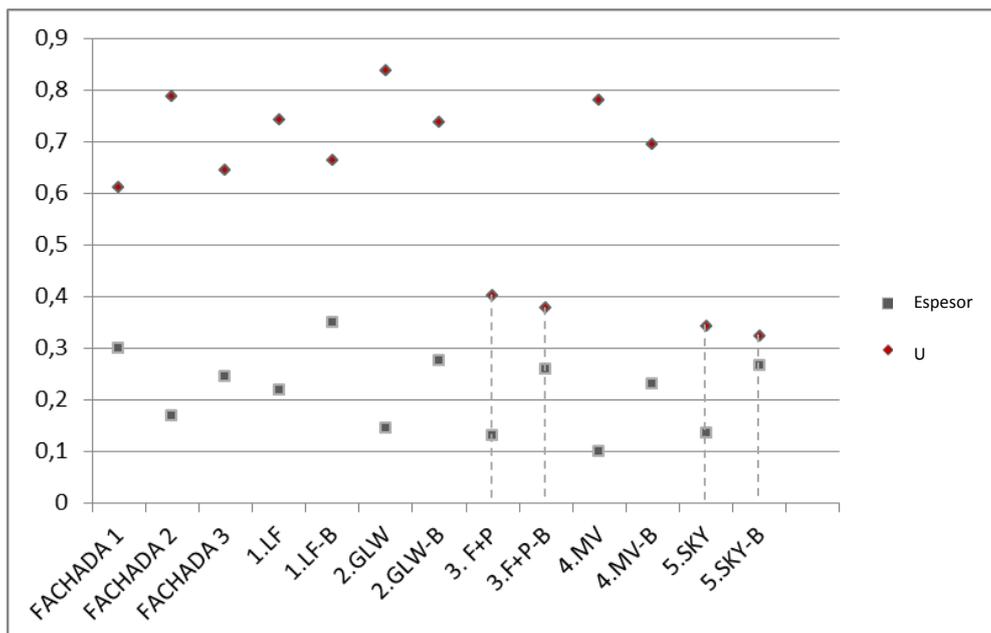


Tabla 15. Gráfico transmitancia y espesor diferentes sistemas.

## ESTUDIO TÉRMICO. NORMATIVA

Valencia zona climática B3:

Tabla 2.3 Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica

Parámetro	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno <sup>(1)</sup> [W/m <sup>2</sup> ·K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m <sup>2</sup> ·K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos <sup>(2)</sup> [W/m <sup>2</sup> ·K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos <sup>(3)</sup> [m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> ]	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

<sup>(1)</sup> Para elementos en contacto con el terreno, el valor indicado se exige únicamente al primer metro de muro enterrado, o el primer metro del perímetro de suelo apoyado sobre el terreno hasta una profundidad de 0,50m.

<sup>(2)</sup> Se considera el comportamiento conjunto de vidrio y marco. Incluye lucernarios y claraboyas.

<sup>(3)</sup> La permeabilidad de las carpinterías indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa.

Tabla 16. DA-DB-HE Tabla 2.3, transmitancias térmicas máximas.

### D.2.7 ZONA CLIMÁTICA B3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno

$U_{Mlim}: 0,82 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Transmitancia límite de suelos

$U_{Slim}: 0,52 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Transmitancia límite de cubiertas

$U_{Clim}: 0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Factor solar modificado límite de lucernarios

$F_{Llim}: 0,30$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim}$ W/m <sup>2</sup> K				Factor solar modificado límite de huecos $F_{Hlim}$					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8	4,9	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3	4,3	5,7	5,7	-	-	-	0,57	-	-
de 31 a 40	3,0	4,0	5,6	5,6	-	-	-	0,45	-	0,50
de 41 a 50	2,8	3,7	5,4	5,4	0,53	-	0,59	0,38	0,57	0,43
de 51 a 60	2,7	3,6	5,2	5,2	0,46	-	0,52	0,33	0,51	0,38

Tabla 17. Transmitancias térmicas límite para edificio de referencia, DB-HE Apéndice C D.2.7., Zona climática B3

Tomando como referencia la zona climática estándar correspondiente a Valencia, se obtiene a partir del DB-HE una transmitancia límite de fachada de  $0,82 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , que expresado en términos de resistencia térmica toma el valor de  $1,2195 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ .

En la tabla inferior se representan las resistencias térmicas de los tres sistemas sin jardín vertical tomados como referencia (fachadas 1, 2 y 3) y los cinco sistemas de jardín vertical junto a una hoja interior de ladrillo hueco de medio pie más revestimiento interior (a modo de una medianera tipo).

Analizando la resistencia aportada por el sistema en sí y por el conjunto, y estas respecto a la resistencia límite para la zona B3, se observa que el único sistema que no cumpliría el límite del CTE perse sería el de bandejas con sustrato ligero GLW (Green Living walls). Con la adición de la hoja interior mencionada o aumentando el espesor del aislante (que se ha tomado mínimo para el estudio) sí que cumpliría.

Mientras que los sistemas LF, GLW Y MV (Leaf Box, Green Living Walls Y *Le Mur Vegetal*) proporcionan valores térmicos en el rango de valores de las tres fachadas sin jardín vertical, los sistemas F+P y SKY (F+P hidropónico con espumas y Sky Pro Wall), dada la composición de sus capas, arrojan valores que doblan la resistencia límite para la zona B3.

R TOTAL (W/m <sup>2</sup> K)						U <sub>lím</sub> =0,82	1,2195
		R sistema	% total	R hoja interior	% total	% sistema R <sub>lím</sub>	% total R <sub>lím</sub>
FACHADA 1	1,6408						134,55
FACHADA 2	1,2743						104,49
FACHADA 3	1,5552						127,53
LF-B	1,5144	1,3527	89,33	0,1616	10,67	110,93	124,18
GLW-B	1,3606	1,1990	88,12	0,1616	11,88	98,32	111,57
F+P-B	2,6667	2,5051	93,94	0,1616	6,06	205,42	218,67
MV-B	1,4458	1,2842	88,82	0,1616	11,18	105,31	118,56
SKY-B	3,1045	2,9429	94,79	0,1616	5,21	241,32	254,58

Tabla 18. Comparación de las resistencias de los diferentes sistemas, porcentajes respecto a resistencia límite.

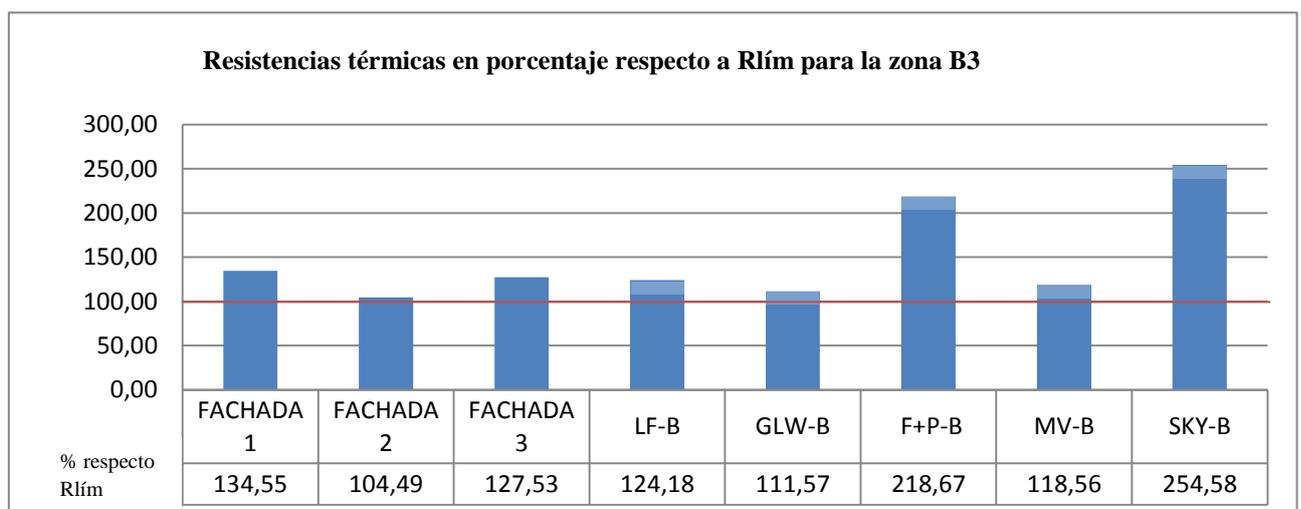


Tabla 19.



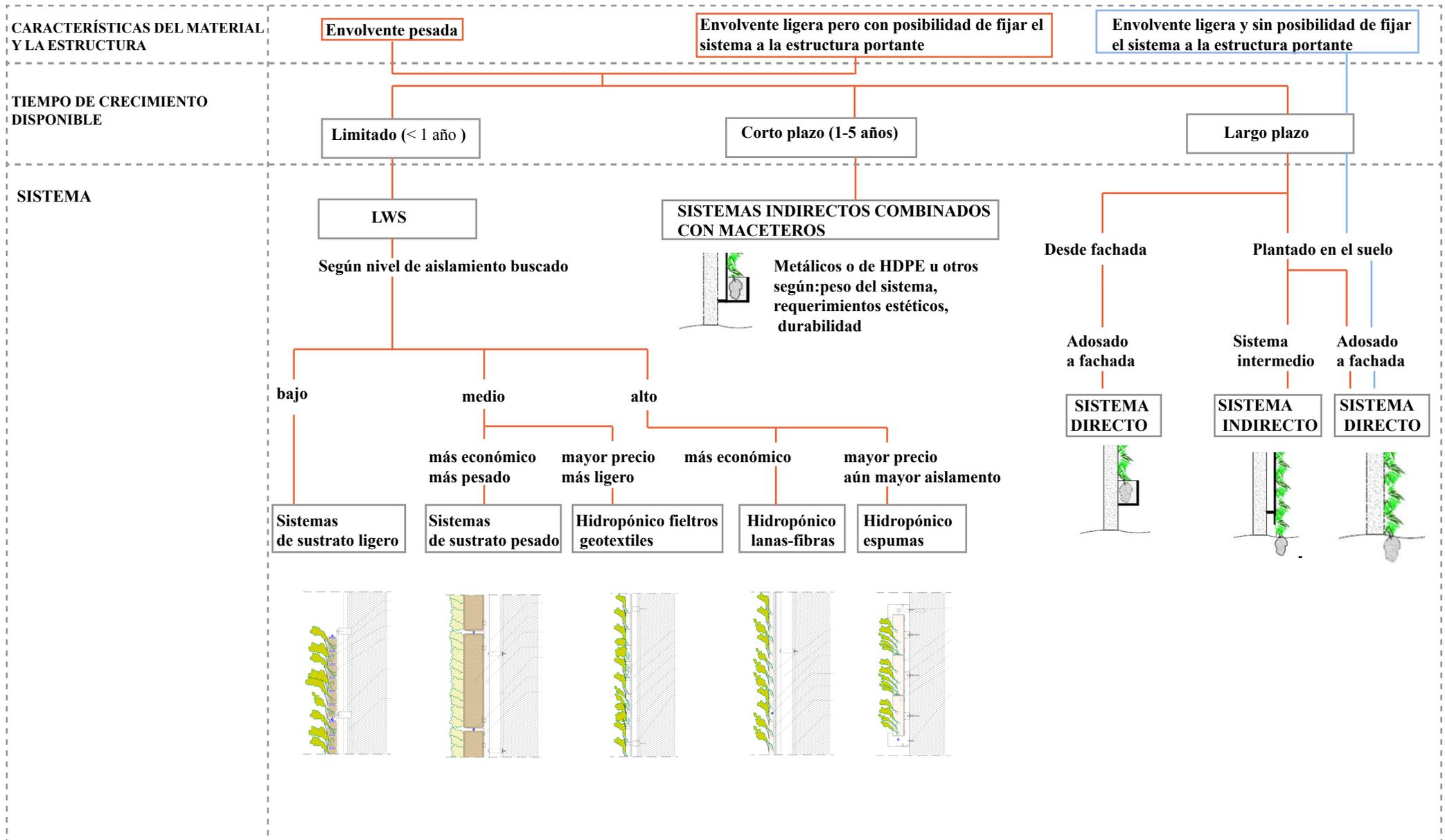
## 5. RECOMENDACIONES PROYECTUALES Y CONCLUSIONES GENERALES

Con el fin de proporcionar una ayuda a la hora de elegir una tipología de fachada verde en concreto, se muestra a continuación un esquema de toma de decisiones, con variables como las características del proyecto (tipo de estructura portante o cerramientos), las de los propios sistemas y el tiempo de crecimiento de las especies vegetales. Otra serie de parámetros que se han de tener en cuenta son el factor económico, el grado de mantenimiento, el clima, orientaciones, especies, grado de exposición, etc; con el fin de evitar en lo posible los daños causados por un diseño inapropiado.

Si las características de la envolvente no permiten la instalación de un sistema de soporte para la cobertura vegetal, el esquema conduce directamente al sistema tradicional directo, con las plantas creciendo desde el suelo.

El tiempo de crecimiento va a condicionar fuertemente el sistema elegido, ya que si existe la necesidad de que el conjunto alcance cierto crecimiento en poco tiempo, los sistemas LWS pasan a ser la alternativa más lógica. Su inconveniente es el elevado precio, debido a las necesidades de mantenimiento continuo (tanto nutrientes como sistema de riego), a los materiales necesarios y a la complejidad de su diseño. Su gran ventaja, además del rápido crecimiento, es el aislamiento proporcionado y la mayor flexibilidad que ofrecen desde los aspectos del diseño.

Si la hoja interior del cerramiento es capaz de resolver por sí misma los requisitos térmicos necesarios, resulta indudablemente más económico la instalación de sistemas directos e indirectos con las plantas creciendo desde el suelo, o la opción de combinar sistemas indirectos con maceteros, con un rango de crecimiento más razonable (de 2 a 5 años).





Este trabajo ha pretendido mostrar una visión global de los jardines verticales y de sus beneficios medioambientales y técnicos, estableciendo una clasificación conceptual de los diferentes sistemas y cuantificando térmicamente el aporte de cada sistema tipo.

Las principales conclusiones son:

-Los beneficios aportados son los extrapolables de cualquier masa de vegetación. Diversos estudios experimentales basados en la medición de la temperatura superficial de los sistemas muestran un descenso de temperatura y un ahorro energético considerables. Además del aporte de resistencia térmica, actúan como reguladores térmicos a través de los mecanismos de reducción de la incidencia de la radiación solar, la variación del efecto del viento y el enfriamiento evaporativo.

-Existe una gran variedad de sistemas en actual expansión en el mercado, pero conceptualmente podemos clasificar los diferentes tipos según las plantas crezcan directamente desde el suelo (fachadas vegetales tradicionales) o en los que el medio de crecimiento se encuentre a la altura de la fachada (muros vivos) y a su vez si las especies crecen directamente desde la envolvente (sistemas directos) o con un sistema intermedio (sistemas indirectos). Dentro de los muros vivos indirectos encontramos los LWS (Living Wall Systems) que constituyen realmente una doble piel que ha de trabajar conjuntamente con la piel interior para que la envolvente desarrolle el comportamiento esperado.

-La comparativa de la transmitancia térmica de los cinco sistemas muestra que los que tienen un comportamiento óptimo y una mejor relación resistencia-espesor son, como cabía esperar, los que incorporan materiales con capacidades aislantes como medio de crecimiento de las especies vegetales. Prácticamente todos los sistemas analizados cumplen la transmitancia límite establecida por el CTE para la zona climática correspondiente a Valencia, por lo que la hoja interior debe desarrollar la función de ser portante junto a los requisitos acústicos que se establezcan.

-La tipología estructural y los materiales de cerramiento permiten establecer un esquema de toma de decisiones del sistema más adecuado en cada caso, no olvidando que las características y factores restrictivos son tantos como casos particulares puedan darse.

Aunque este estudio se haya centrado en el comportamiento térmico, haciendo referencia a otras publicaciones de la literatura referidas a este ámbito (CIE5060 tesis de máster M. A. Mir), los estudios muestran que los sistemas de jardines verticales no tienen una influencia negativa en las condensaciones o en la difusión de vapor comparado con cerramientos tradicionales y que las condensaciones producidas en el periodo de invierno no superan los límites.

En cuanto al factor acústico, de acuerdo con Chiang *et al.*, no todos los sistemas de cobertura vegetal muestran una buena reducción sonora. Los que alcanzan mayores resultados reducen en un rango de 5 a 10 db la frecuencia media. Los factores que influyen en la atenuación del ruido son los materiales usados como sistema de soporte, las características de la cámara intermedia y el espesor del medio de crecimiento y de las especies, que en la mayoría de los casos necesitarían alcanzar espesores excesivos para proporcionar una mejora acústica perceptible.



### Futuro de los jardines verticales. Investigación.

El estudio de este campo necesita todavía ser ampliamente desarrollado, permitiendo así que los sistemas de cobertura vegetal puedan ser aceptados plenamente como una herramienta más de ahorro energético. Las variables a cuantificar son el aislamiento proporcionado, los aspectos de durabilidad, el mantenimiento, las especies empleadas en función de las condiciones climáticas, los materiales involucrados, etc.

Otros aspectos que deben ser investigados más a fondo son la integración con la envolvente arquitectónica, la elección de materiales más sostenible, el impacto medioambiental; y la simbiosis creada entre el medio de crecimiento y la vegetación, elemento clave para el éxito de los jardines verticales.

Una línea de trabajo que debería ser desarrollada es la de la colaboración necesaria entre las figuras de arquitecto y biólogo, pudiendo llegar a estar unidos los dos papeles en uno solo, consiguiendo de esta forma que las variables determinantes a la hora de diseñar un jardín vertical estén presentes en todas las fases del proceso, al igual que estructura y función en un proyecto.

El campo de análisis debe explorar también el aspecto económico, ya que si se logra que el ahorro energético en climatización más otros beneficios ya mencionados compense los gastos de sistemas como los LWS, equiparando además su precio al de una fachada ventilada, la instalación de fachadas vegetales dejará de ser un elemento meramente de reclamo en ciertos edificios con usos específicos, para ser una opción al alcance de cualquier proyecto.

La inclusión de un mayor número de jardines verticales en la escena urbana actual proporcionaría múltiples beneficios medioambientales, sin olvidar el aspecto psicológico del elemento verde.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, J. *et al.* (2009). “Sistemas vegetales que mejoran la calidad ambiental de las ciudades” en Boletín CF+S, Ciudades para un futuro más sostenible. <<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n42/ab-mcha.html>> [Consulta: 24 de marzo de 2016]

BLANC, P. <<http://www.verticalgardenpatrickblanc.com>> [Consulta: marzo de 2016]

Blog Urbanarbolismo. <<http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachadas-vegetales-urbanarbolismo>> [Consulta: marzo de 2016].

Catálogo de elementos constructivos del CTE. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA. Versión preliminar: Marzo 10. Borrador Archivo: CAT-ECv6.3 (MARZO10).doc

CHAN, D. *et al.* (2010). *Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls*. Building and Environment 45, p. 663–672 <<http://www.journals.elsevier.com/building-and-environment>> [Consulta: 25 de marzo de 2016].

CHIAN, K. *et al.* (2009). *Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls*, en Building and Environment 45, p.411–420.  
<[http://ac.els-cdn.com/S0360132309001632/1-s2.0-S0360132309001632-main.pdf?\\_tid=2922f0fe-3700-11e6-8ca7-00000aab0f27&acdnat=1466438631\\_0ea55d2c727434e384676a32924699a5](http://ac.els-cdn.com/S0360132309001632/1-s2.0-S0360132309001632-main.pdf?_tid=2922f0fe-3700-11e6-8ca7-00000aab0f27&acdnat=1466438631_0ea55d2c727434e384676a32924699a5)>  
[Consulta: 20 de junio de 2016].

ELMICH, VGM Green Wall <<http://www.geofabrics.co.nz/media/3047/elmich-vgm-green-wall.pdf>> [Consulta: 7 de marzo de 2016].

España. Documento Básico HE Ahorro de energía. Versión publicada en el BOE 12/09/2013, con corrección de errores del BOE del 08/11/2013), p.15, 27, 32-37.

España. Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía. Código Técnico de la Edificación, Febrero de 2015. Ministerio de Fomento.

EUMORFOPOULOU, E. y KONTOLEON, K. (2008). *Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour of building envelopes*. <<http://www.journals.elsevier.com/building-and-environment>> Building and Environment 44 1024–1038> [Consulta: 25 de marzo de 2016].

FRAAIJ, A. *et al.* (2011). *Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope*. Genoa: University of Genoa. Delft: Delft University of Technology.

GARRIDO, L. (2011). *Sustainable architecture, Green in Green*. Barcelona: Instituto Monsa de Ediciones.



Green Living Technologies, Green living Walls. <<http://www.agreenroof.com/green-walls/>> [Consulta: 7 de mayo de 2016].

Gsky Plant Systems. Inc. <<https://www.gsky.com/pro-wall/>> [Consulta: 8 de mayo de 2016].

HAAS, E. *et al.* (2011). *Greening the building envelope, façade greening and living wall systems* en *Open Journal of Ecology*, Vol.1, No.1, p. 1-8 <<http://dx.doi.org/10.4236/oje.2011.11001> > [Consulta: 26 de marzo de 2016].

HAAS, E. *et al.* (2013). “Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls” en *Urban Ecosyst* 16:265–277.

HASAN, M. (2013) *Investigation of Energy Efficient approaches for the energy performance improvement of commercial buildings* .Tesis. Brisbane, Australia: Queensland University of Technology.

KARACA, E. y B. TIMUR (2013) *Advances in Landscape Architecture*, capítulo 22: *Vertical gardens*. <<http://www.intechopen.com/books/advances-in-landscape-architecture/vertical-gardens>> [Consulta: 25 de marzo de 2016].

MINKE, G. (2012). *Muros y fachadas verdes, jardines verticales*. Barcelona: Icaria editorial.

MIR, A. (2011) *Green facades and building structures*. Tesis. Delft: Universidad Técnica de Delft.

OCHOA DE LA TORRE, J.M. (1999) *La vegetación como instrumento para el control microclimático*, Capítulo 5: *evaluación y aprovechamiento de los efectos microclimáticos de la Vegetación* .Tesis, TDX (Tesis Doctorals en Xarxa), UPC Commons. Universitat Politècnica de Catalunya.

OTTELÉ, M. (2011). *The Green building envelope, Vertical greening*. Universidad Técnica de Delft: SiecaRepro.

PERINI, K., ROSASCO, P. (2013). *Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems*. *Building and Environment* (2013), p. 110-121 .Genoa, Italy: University of Genoa, Department of Architectural Sciences. <[www.journals.elsevier.com/building-and-environment/](http://www.journals.elsevier.com/building-and-environment/)> [Consulta: 26 de marzo de 2016].

Sala de prensa UPC. “Desarrollan un hormigón biológico para construir fachadas ‘vivas’ con líquenes, musgos y otros microorganismos”

<[http://www.upc.edu/saladeprensa/al-dia/mes-noticies/desarrollan-un-hormigon-biologico-para-construir-fachadas-2018vivas2019-con-liquenes-musgos-y-otros-microorganismos?set\\_language=es](http://www.upc.edu/saladeprensa/al-dia/mes-noticies/desarrollan-un-hormigon-biologico-para-construir-fachadas-2018vivas2019-con-liquenes-musgos-y-otros-microorganismos?set_language=es)> [Consulta: 24 de marzo de 2016].