

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

TESI DOCTORAL

FAÇANES VEGETADES

Estudi del seu potencial com a sistema passiu d'estalvi d'energia, en clima mediterrani continental

Programa de Doctorat: **11 Àmbits de Recerca en l'Energia i el Medi Ambient a l'Arquitectura**

Director: **Dr. Josep Maria González Barroso**

Codirectora: **Dra. Luisa F. Cabeza Fabra**

Doctorant: **Gabriel Pérez Luque**

Agraïments

Agraeixo al director d'aquesta tesi, el Dr. Josep Maria González Barroso, la motivació i recolzament des de l'inici de la tesi, així com els seus valuosos consells.

Igualment dono les gràcies, a la codirectora de la tesi, la Dra. Luisa Fernanda Cabeza Fabra, pel seu imprescindible suport i constant assessorament.

També expresso el meu agraïment a les següents institucions i persones:

Al departament de Construccions Arquitectòniques I de la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Als professors del programa de doctorat "Àmbits de recerca en l'energia i el medi ambient en l'arquitectura".

Al departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial de la Escola Politècnica Superior de la Universitat de Lleida.

Al grup de recerca GREA innovació concurrent de la Universitat de Lleida.

Als ajuntaments de Golmés i Puigverd de Lleida.

Voldria destacar especialment les aportacions de l'Anna Vila Palol, per les seves imprescindibles col·laboracions, als companys Dr. Miquel Nogués, Dr. Joan Roca i Sr. Ricard Vicente, per la seva ajuda en la construcció i transport de les estructures de Puigverd, i al Dr. Marc Medrano pel seu assessorament en la interpretació de les simulacions.

Finalment, vull agrair als meus pares i germans el seu suport incondicional, i a l'Albert, al Lluç i a la Mireia per l'energia que em transmeten cada dia.

Índex

Agraïments	2
Resum	7
Resumen	9
Abstract	11
Capítol 1. Preàmbul	13
1.1. Introducció	13
1.2. Objectius	15
1.2.1. Objectiu general	15
1.2.2. Objectius particulars	15
1.3. Metodologia de treball	15
PRIMERA PART	17
Capítol 2. Aspectes funcionals de la vegetació d'edificis	17
2.1. Avantatges de la vegetació d'edificis	18
2.2.1. A escala de l'edifici	18
2.2.1.1. Regulació tèrmica d'edificis - estalvi energètic	18
2.2.1.1.1. Aïllament tèrmic dels edificis	19
2.2.1.1.2. Interacció amb la radiació solar. Ombra	23
2.2.1.1.3. Refredament evaporatiu	27
2.2.1.1.4. Variació de l'efecte que el vent produïx sobre l'edificació	30
2.2.1.2. Aïllament acústic dels edificis	30
2.2.1.3. Protecció de la membrana impermeabilitzant	31
2.2.1.4. Habitabilitat dels espais oberts	32
2.2.1.5. Producció d'aliments	32
2.2.1.6. Millora visual de l'edifici	34
2.2.2. A escala urbana	36
2.2.2.1. Retenció de pols i contaminants	36
2.2.2.2. Gestió de l'aigua de pluja	37
2.2.2.3. Reducció de l'efecte d'illa de calor a les grans ciutats	41
2.2.2.4. Retenció de CO ₂	43
2.2.2.5. Reducció del soroll urbà	44
2.2.2.6. Augment de la biomassa i suport de biodiversitat a la ciutat	45
2.2.2.7. Benefici per a la salut mental	47
2.2. Desavantatges de la vegetació d'edificis	49

2.2.1. Inversió inicial i Manteniment.....	49
2.2.2. Danys que la vegetació pugui produir en l'edifici.....	49
2.2.3. Sistemes constructius i tecnologia desenvolupats parcialment.....	50
2.3. Conclusions del Capítol 2.....	52
2.4. Bibliografia i referències.....	54
Capítol 3. El sistemes de vegetació vertical d'edificis	58
3.1. Antecedents	58
3.2. Els sistemes de vegetació vertical.	65
3.2.1. Greenscreen system	65
3.2.2. Green Wall Container	68
3.2.3. Green Wall Panels	69
3.2.4. FaçadeScape system. I – SYS Stainless Cables and Rods	72
3.2.5. FaçadeScape system. X – Tend Stainless Steel Flexible Mesh Fabric.....	74
3.2.6. Jakob inox line	75
3.2.7. ELT Easy Green Living Wall Panel.....	77
3.2.8. Parabienta Green Wall	79
3.2.9. Paramento vertical vegetal.....	80
3.2.10. Green Wall System	82
3.2.11. Mur végétaux.....	83
3.2.12. BRYOTEC Technology	85
3.3. La recerca en l'àmbit dels sistemes de vegetació vertical.	86
3.3.1. Heat and Mass Transfer Technological Center. UPC Barcelona, Spain.....	86
3.3.2. The Green Roof Centre of Excellence (University of Applied Sciences Neubrandenburg), Germany	86
3.3.3. Technical University of Berlin, Germany.....	86
3.3.4. Environment Canada at the University of Toronto. Centre of Environment. Adaptation and Impacts Research Division, Canada	86
3.3.5. Tokyo Institute of Technology. Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Japan.....	87
3.3.6. Fundación Rafael Escola, Spain.....	87
3.3.7. Centre for Sustainability of the Built Environment. School of the Environment. University of Brighton, UK	87
3.3.8. Centre for subtropical design. Queensland University of technology. Brisbane, Australia	87
3.3.9. Live Building. Integrated Learning Centre.Faculty of Applied Science. Queen's University. Kingston, Ontario, Canada	88
3.3.10. Departament of Landscape. The University of Sheffiel, UK.....	88
3.3.11. Departament of Natural Resources and Agricultural Engineering. Agricultural University of Athens, Grècia	88

3.3.12. Mechanicla Engineering. TU Delft, The Netherlands.....	88
3.4. La normativa en l'àmbit dels sistemes de vegetació vertical.....	89
3.5. Conclusions del Capítol 3.....	90
3.6. Bibliografia i referències.....	91

SEGONA PART 93

Capítol 4. Les façanes vegetades de doble pell o cortines vegetals en clima mediterrani 93

4.1. Classificació dels sistemes constructius de vegetació vertical d'edificis.....	94
4.2. Les façanes vegetades de doble pell o cortines vegetals en clima mediterrani.....	103
4.2.1. Tipologies d'espècies vegetals enfiladisses per a façanes vegetades de doble pell o cortines vegetals.....	103
4.2.2. Relació d'espècies per façanes vegetades de doble pell o cortines vegetals en clima mediterrani.....	106
4.3. Conclusions del Capítol 4.....	110
4.4. Bibliografia i referències.....	111

Capítol 5. Les façanes vegetades com a sistema passiu d'estalvi d'energia, en clima mediterrani continental 112

5.1. Experimentació a Puigverd.....	113
5.1.1. Objectiu.....	113
5.1.2. Materials i mètodes.....	113
5.1.2.1. Enreixats modulars.....	113
5.1.2.2. Substrat.....	114
5.1.2.3. Espècies vegetals.....	115
5.1.2.4. Situació i emplaçament.....	116
5.1.2.5. Orientació.....	116
5.1.2.6. Reg.....	116
5.1.2.7. Protocol de seguiment i manteniment.....	117
5.1.2.8. Instrumental i presa de dades.....	117
5.1.3. Resultats i discussió.....	119
5.1.3.1. Creixement de les plantes.....	119
5.1.3.2. Transmissió lumínica del fullatge.....	120
5.2. Experimentació a Golmés.....	121
5.2.1. Objectiu.....	121
5.2.2. Descripció de la façana.....	121
5.2.3. Material i mètodes.....	127
5.2.4. Resultats i discussió.....	130
5.2.4.1. Il·luminància.....	131

5.2.4.2. Transmissió lumínica i factor d'ombra.....	133
5.2.4.3. Humitat ambiental.....	136
5.2.4.4. Temperatura ambiental.....	138
5.2.4.5. Temperatura superficial.....	140
5.2.4.6. Velocitat estimada del vent.....	141
5.2.4.7. Desenvolupament de les plantes.....	142
5.2.4.8. Anàlisi termogràfic.....	144
5.3. Simulacions amb façanes vegetades.....	153
5.3.1. Objectiu.....	153
5.3.2. Material i Mètodes.....	153
5.3.3. Resultats i discussió.....	155
5.3.3.1. Simulació de la façana de Golmés.....	155
5.3.3.1.1. Efecte de les pantalles vegetals en els guanys solars anuals.....	156
5.3.3.1.2. Efecte de les pantalles vegetals en les demandes d'energia anuals.....	157
5.3.3.1.3.. Efecte de les pantalles vegetals en les temperatures interiors.....	158
5.3.3.2. Comparació de l'efecte d'ombra entre diferents espècies d'enfiladisses.....	162
5.4. Conclusions Capítol 5.....	166
5.4.1. Conclusions de l'experimentació a Puigverd de Lleida.....	166
5.4.2. Conclusions de l'experimentació a Golmés.....	166
5.4.2. Conclusions de les simulacions amb façanes vegetades.....	167
5.5. Bibliografia i referències.....	168
Capítol 6. Publicacions relacionades amb aquesta tesi.....	169
6.1. Publicacions científiques.....	169
6.2. Contribucions a congressos.....	169
6.3. Participació en Projectes de R+D finançats a Convocatòries Públiques.....	171
EPÍLEG.....	172
Capítol 7. Conclusions generals.....	172
Capítol 8. Línies futures de treball.....	178
Índex de figures.....	179
Índex de taules.....	183
Índex d'esquemes.....	184
Índex de gràfics.....	184

Resum

L'objectiu general d'aquesta tesi doctoral és la realització d'un estudi sobre els sistemes de vegetació de les façanes d'edificis i del seu possible ús com a sistema passiu d'estalvi d'energia en edificació.

En la primera part del treball, s'aborda de forma general l'estat de l'art de l'anomenada arquitectura vegetada, tant de cobertes com de façanes, fent incidència en els aspectes funcionals de la integració de vegetació en els edificis, és a dir, dels seus avantatges i desavantatges.

Un cop acotada la temàtica objecte de la tesi, és a dir les façanes vegetades, es duu a terme un estudi més específic sobre aquests sistemes, contemplat des de tres vessants, des de l'àmbit dels sistemes constructius, des de l'àmbit de la recerca, i finalment des de l'àmbit normatiu. En aquest estudi s'evidencia la existència d'un gran nombre de sistemes constructius diferents emprats per a la vegetació de façanes, i en conseqüència la dificultat en interpretar i comparar les dades referents als seus aspectes funcionals (avantatges i desavantatges). També es detecta que la recerca en aquest sector és incipient i que la normativa és quasi bé inexistent.

En la segona part de la tesi, i amb la informació recopilada en la fase anterior, es proposa una classificació d'aquests sistemes verticals de vegetació d'edificis, a partir de la qual es puguin diferenciar clarament les tipologies de sistemes verticals de vegetació d'edificis. També es fa una primera valoració de cadascun d'aquests sistemes d'acord a diferents criteris de caire general, la qual permet fer-se una idea del que poden aportar uns i altres.

D'aquesta anàlisi es pot considerar que són les façanes vegetades, i concretament les de doble pell o cortines vegetals les que ofereixen millors expectatives en quant a proveir superfícies vegetades verticals integrades a l'edificació, mitjançant sistemes constructius senzills i fàcilment desmuntables (si s'escau), de manteniment extensiu.

Cal però tenir en compte que la funcionalitat d'aquestes façanes dependrà de les espècies que s'utilitzin, així com del tipus de clima en el que es fan anar. En aquest sentit, en la tesi es proposa, per a façanes vegetades de doble pell o cortines vegetades, una relació de les espècies més adequades per a clima mediterrani, tot diferenciant entre clima mediterrani continental i clima mediterrani litoral. En aquesta relació, les espècies s'han agrupat en funció de l'estratègia de desenvolupament de cadascuna d'elles i dels sistemes de subjecció o suport que els hi poden ser més escaients en cada cas. El resultat final són unes taules amb la relació d'espècies que cal considerar en el moment del disseny, en funció de les condicions climàtiques especificades, i per a cadascun dels sistemes de suport o subjecció.

Finalment, en aquesta segona part de la tesi, s'ha avançat en l'estudi del potencial de les façanes vegetades com a sistema passiu d'estalvi d'energia en edificació.

En general, es pot afirmar que la utilització de vegetació, de forma ben dissenyada i gestionada, pot ser una eina útil de regulació tèrmica d'edificis amb el conseqüent estalvi energètic que comporta. Aquesta pot tenir lloc de quatre formes, sovint relacionades:

- Actua com aïllament tèrmic.

- L'efecte ombra.
- El refredament evaporatiu.
- La variació de l'efecte que produiria el vent sobre l'edificació.

Per obtenir dades relatives a aquesta i d'altres qüestions sobre el funcionament de les façanes vegetades de doble pell o cortines vegetals, i concretament en clima mediterrani continental s'han plantejat i desenvolupar diverses accions.

En un experiment implementat a Puigverd de Lleida l'objectiu principal ha estat l'estudi i comparació de la capacitat per produir ombra de diferents espècies d'enfiladisses en clima mediterrani continental. Amb aquest propòsit s'han dissenyat i construït uns enreixats, s'han plantat quatre tipus d'enfiladisses i s'han deixat créixer durant un any, moment en el que s'ha dut a terme mesures de la seva transmissivitat lumínica. Els valors obtinguts per a la transmissivitat lumínica per a les diferents espècies són comparables als valors del Factor d'Ombra que s'especificuen emprant obstacles de façana en el Codi Tècnic de l'Edificació, per a façanes sud.

Una altra acció ha consistit en dur a terme l'estudi i seguiment durant un any del comportament d'una façana vegetada de doble pell o cortina vegetal, mitjançant enreixats modulars i Glicina (*Wisteria sinensis*), a la població de Golmés, a prop de Lleida. En aquest cas es pot verificar el gran potencial d'aquests sistemes en la intercepció de radiació (ombra), així com la creació d'unes condicions microclimàtiques diferents en l'espai intermedi entre la cortina vegetal i la paret de l'edifici, caracteritzades per una temperatura major i humitat relativa més baixa a l'hivern (període sense fulles), i menor temperatura i una humitat més alta a l'estiu (període amb fulles). L'Humitat Absoluta es manté lleugerament superior en l'espai intermedi en la majoria de mesos de l'any, incrementant-se la diferència en el període estival. Els resultats posen de manifest, a més de l'efecte d'ombra, que la cortina vegetal actua com a barrera contra el vent, i verifica l'efecte que produeix l'evapotranspiració de les plantes.

També s'ha verificat l'efecte que produeix la façana vegetada en l'edifici per mitjà d'una anàlisi termogràfica tant a l'hivern com a l'estiu.

Finalment, i mitjançant l'eina de simulació Bioclim+Confie, s'han elaborat diferents simulacions del funcionament de les façanes vegetades, en funció de la seva capacitat de produir ombra, tot fent anar uns coeficients mensuals de transparència tant aplicats en els buits de finestra com en la part opaca de les parets de façana. Aquestes simulacions aporten dades interessants en quant a la modificació dels guanys solars i les demandes d'energia de les edificacions quan es planteja com a estratègia la utilització de pantalles vegetades.

En general, la tesi revisa l'estat actual dels sistemes verticals de vegetació de d'edificis, els ordena i classifica de cara a accions futures, i inicia línies de treball amb aquests sistemes en condicions locals de clima mediterrani i en referència al seu ús com a sistemes passius d'estalvi d'energia.

Resumen

El objetivo general de esta tesis doctoral es la realización de un estudio sobre los sistemas de vegetación de las fachadas de edificios y de su posible uso como sistema pasivo de ahorro de energía en edificación.

En la primera parte del trabajo, se aborda de forma general el estado del arte de la llamada arquitectura vegetada, tanto de cubiertas como de fachadas, haciendo incidencia en los aspectos funcionales de la integración de vegetación en los edificios, o sea, de sus ventajas y desventajas.

Una vez acotado el tema objeto de la tesis, las fachadas vegetadas, se lleva a cabo un estudio más específico sobre estos sistemas, contemplado desde tres vertientes, desde el ámbito de los sistemas constructivos, desde el ámbito de la investigación, y finalmente desde el ámbito normativo. En este estudio se evidencia la existencia de un gran número de sistemas constructivos diferentes utilizados para la vegetación de fachadas, y en consecuencia la dificultad en interpretar y comparar los datos referentes a sus aspectos funcionales (ventajas y desventajas). También se detecta que la investigación en este sector es incipiente y que la normativa es casi inexistente.

En la segunda parte de la tesis, y con la información recopilada en la fase anterior, se propone una clasificación de estos sistemas verticales de vegetación de edificios, a partir de la cual se puedan diferenciar claramente las tipologías de sistemas verticales de vegetación de edificios. También se hace una primera valoración de cada uno de estos sistemas de acuerdo a diferentes criterios de carácter general, la cual permite hacerse una idea de lo que pueden aportar unos y otros.

De este análisis se puede considerar que son las fachadas vegetadas, y concretamente las de doble piel o cortinas vegetales las que ofrecen mejores expectativas en cuanto a proveer superficies vegetadas verticales integradas edificación, mediante sistemas constructivos sencillos, fácilmente desmontables (si es necesario), y de mantenimiento extensivo.

Hay pero tener en cuenta que la funcionalidad de estas fachadas dependerá de las especies que se utilicen, así como del tipo de clima en el que se utilizan. En este sentido, en la tesis se propone, para fachadas vegetadas de doble piel o cortinas vegetadas, una relación de las especies más adecuadas para clima mediterráneo, diferenciando entre clima mediterráneo continental y clima mediterráneo litoral. En esta relación, las especies se han agrupado en función de la estrategia de desarrollo de cada una de ellas y de los sistemas de sujeción o apoyo que les pueden ser más adecuados en cada caso. El resultado final son unas tablas con la relación de especies a considerar en el momento del diseño, en función de las condiciones climáticas especificadas, y para cada uno de los sistemas de apoyo o sujeción.

Finalmente, en esta segunda parte de la tesis, se ha avanzado en el estudio del potencial de las fachadas vegetadas como sistema pasivo de ahorro de energía en edificación.

En general, se puede afirmar que la utilización de vegetación, de forma bien diseñada y gestionada, puede ser una herramienta útil de regulación térmica de edificios con el consiguiente ahorro energético que conlleva. Esta puede tener lugar de cuatro formas, a menudo relacionadas:

- Actúa como aislamiento térmico.

- El efecto sombra.
- El enfriamiento evaporativo.
- La variación del efecto que produciría el viento sobre la edificación.

Para obtener datos relativos a esta y otras cuestiones sobre el funcionamiento de las fachadas vegetadas de doble piel o cortinas vegetales, y concretamente en clima mediterráneo continental se han planteado y desarrollado diversas acciones.

En un experimento implementado en Puigverd de Lleida el objetivo principal ha sido el estudio y comparación de la capacidad para producir sombra de diferentes especies de trepadoras en clima mediterráneo continental. Con este propósito se han diseñado y construido unos enrejados, se han plantado cuatro tipos de trepadoras y se han dejado crecer durante un año, momento en el que se ha llevado a cabo medidas de su transmisividad lumínica. Los valores obtenidos para la transmisividad lumínica para las diferentes especies son comparables a los valores del Factor de Sombra que se especifican usando obstáculos de fachada en el Código Técnico de la Edificación, para fachadas sur.

Otra acción ha consistido en el estudio y seguimiento durante un año del comportamiento de una fachada vegetada de doble piel o cortina vegetal, mediante enrejados modulares y Glicina (*Wisteria sinensis*), en la población de Golmés, cercana a Lleida. En este caso se puede verificar el gran potencial de estos sistemas en la intercepción de radiación (sombra), así como la creación de unas condiciones microclimáticas diferentes en el espacio intermedio entre la cortina vegetal y la pared del edificio, caracterizadas por una temperatura mayor y humedad relativa más baja en invierno (período sin hojas), y menor temperatura y una humedad más alta en verano (período con hojas). La Humedad Absoluta se mantiene ligeramente superior en el espacio intermedio en la mayoría de meses del año, incrementándose la diferencia en el periodo estival. Los resultados ponen de manifiesto, además del efecto de sombra, que la cortina vegetal actúa como barrera contra el viento, y verifica el efecto que produce la evapotranspiración de las plantas.

También se ha verificado el efecto que produce la fachada vegetada en el edificio por medio de un análisis termográfico, tanto en invierno como en verano.

Finalmente, y mediante la herramienta de simulación Bioclim+Confie, se han elaborado diferentes simulaciones del funcionamiento de las fachadas vegetadas, en función de su capacidad de producir sombra, utilizando unos coeficientes mensuales de transparencia tanto aplicados en los huecos de ventana como en la parte opaca de las paredes de fachada. Estas simulaciones aportan datos interesantes en cuanto a la modificación de las ganancias solares y las demandas de energía de las edificaciones cuando se plantea como estrategia la utilización de pantallas vegetadas.

En general, la tesis revisa el estado actual de los sistemas verticales de vegetación de edificios, los ordena y clasifica de cara a acciones futuras, e inicia líneas de trabajo en referencia a su uso como sistemas pasivos de ahorro de energía en condiciones locales de clima mediterráneo.

Abstract

The overall objective of this PhD is conducting a study on vegetation systems in facades of buildings and their possible use as a passive system of energy savings in buildings.

The first part of the work addresses, in a general way, the state of the art of vegetated architecture, both in roofs as in facades, with attention on functional aspects of the integration of vegetation in buildings, ie, their advantages and disadvantages.

Once narrowed the subject of the thesis, the vegetated facades, a more specific study about these systems was carried out, viewed from three aspects, from the point of view of building systems, from the research, and finally from the normative domain. This study demonstrates the existence of a large number of different construction systems used for vegetation on facades, and hence the difficulty in interpreting and comparing the data on its functional aspects (advantages and disadvantages). It also detects that the research in this area is nascent and that the legislation is almost nonexistent.

In the second part of the thesis, with the information collected in the previous phase, a classification of vertical vegetated systems of buildings in which they can clearly differentiate the types of these systems is proposed. An initial assessment of each of these systems according to various criteria of a general nature, which gives an idea of what they can bring, is also done.

This analysis shows that there are green facades, specifically the double-skin or vegetable curtains, that offer better expectations to provide vertical vegetated surfaces integrated in the buildings, through simple construction systems, are easily removable (if it's necessary), and only need a extensive maintenance.

Nevertheless, one should keep in mind that the functionality of these facades depends on the species used and the type of climate in which they are used. In this sense, in the thesis a list of the most suitable species for Mediterranean climate for double-skin green facades or green curtains is proposed, distinguishing between continental and Mediterranean climate Mediterranean climate coast. In this relationship, the species were grouped according to the development strategy of each species and fastening systems or support they may be more appropriate in each case. The end result is a table with the list of species that should be considered in the design time, depending on climatic conditions specified, and for each subject or support systems.

Finally, in this second part of the thesis, the potential of vegetated facades as passive system of energy saving in buildings is also studied.

In general, it can be said that the use of vegetation, well designed and managed, can be a useful tool for thermal regulation of buildings with the corresponding energy savings. This can occur in four ways, often related:

- The insulation effect.
- The shadow effect.
- The evaporative cooling.
- The variation of effect that the wind produced on the building.

For information on these and other questions about the operation of double-skin green facades or green curtains, particularly in continental Mediterranean climate, several actions were initiated and developed.

In an experiment implemented in Lleida Puigverd, the main objective was the study and comparison of the ability to produce shade of various species of climbers in continental Mediterranean climate. For this purpose some trellises were designed and built, and four types of climbing plants were planted and allowed to grow for a year. After a year measures of their light transmissivity were carried out. The values obtained for the light transmissivity for the different species are comparable to the values of Shadow Factor obstacles that are specified using obstacles in the Technical Building Code, for south facades.

Another action was the study of the behaviour of a double-skin green facade or green curtain, made with modular trellis and Wisteria (*Wisteria sinensis*), in the village of Golmés, near Lleida, during one year. In this case the great potential of these systems in light interception (shadow) could be checked, but also the possibility to create different microclimatic conditions in the space between the curtain of vegetation and the building wall, characterized by a higher temperature and lower relative humidity in winter (leafless period) and lower temperature and higher humidity in summer (period with leaves). The absolute humidity remains slightly higher in the intermediate space in most months of the year, increasing the difference in the summer period. The results show, in addition to the shadow effect, that the curtain of vegetation acts as a barrier against the wind, and verifies the effect of evapotranspiration from plants.

The effect of the vegetated facade on the building through a thermographic analysis, both winter and summer, was also verified.

Finally, through the simulation tool Bioclim+Confie, different simulations of green facades were developed, based on their ability to produce shade, using monthly coefficients of transparency, applied in holes of the window and in the opaque area of the facade walls. These simulations provide interesting information regarding the modification of solar gains and the energy demands of buildings when the strategy is the use of green screens.

In general, the thesis reviews the current state of the art of vertical vegetated systems of buildings, and classifies them for future actions. Besides, a research line in reference to their use as passive systems for energy savings in local conditions Mediterranean climate was started.

Capítol 1. Preàmbul

1.1. Introducció

Per diferents motius, econòmics, de sostenibilitat, etc., avui en dia s'està produint una important i interessant aproximació entre l'arquitectura i el medi ambient. Aquesta, està tenint lloc de formes i amb graus d'intensitat diferents.

Així, hom pot parlar d'arquitectura o construcció bioclimàtica, com una aproximació a un concepte superior que seria l'arquitectura sostenible. També trobarem qui parla d'arquitectura ecològica, o fins i tot arquitectura verda.

En qualsevol cas, sembla que l'aproximació entre arquitectura i medi ambient està tenint lloc mitjançant:

- Canvis en els valors i en el pensament perceptiu de tots els agents implicats: usuaris, projectistes, constructors, promotors i fabricants.
- Una tendència cap a utilització de criteris de sostenibilitat en el disseny, on el tancament de cicles materials i la utilització de sistemes passius per a la disminució del consum energètic són objectius prioritaris.
- El desenvolupament i aplicació de sistemes que permetin integrar, i no aïllar, allò construït amb els processos naturals que configuren el medi ambient.

Un d'aquests sistemes és la integració de vegetació a les edificacions o el que es podria anomenar "arquitectura vegetada".

Si bé tradicionalment s'ha emprat la vegetació en arquitectura per motius bàsicament estètics, avui en dia s'està justificant també la seva utilització per d'altres motius, de tipus funcional, econòmic, ecològic, etc., com per exemple l'estalvi energètic, la durabilitat dels materials de superfície, la millora del clima urbà, com a suport de biodiversitat, i molts altres.

D'altra banda però, sovint es contempla la vegetació com component de l'edifici que implica un increment de les inversions inicials, que a més a més cal mantenir i que, amb el pas del temps, suposa un possible agent agressor de les construccions.

En ser un ens viu, aquest és variable en el temps (la seva forma, pes, capacitats, etc.), de forma que els avantatges i els desavantatges de l'element vegetal ni són immediats, ni són constants en el temps. Això dificulta la seva quantificació i qualificació objectiva.

Aquest fet és possiblement un dels motius de la seva compromesa utilització, ja en la fase de disseny, on el control d'allò que s'està projectant és molt important per als arquitectes i els enginyers.

La incertesa que crea aquesta variabilitat temporal dels aspectes funcionals, és potser un dels principals frens a la utilització de vegetació en arquitectura.

Fonamentalment hi ha dues estratègies d'integrar vegetació en l'arquitectura, bé mitjançant les cobertes, o bé mitjançant les façanes.

L'ús de **cobertes vegetades** és una pràctica prou consolidada en diversos països, alguns com Alemanya les utilitzen des dels anys 80. També és abundant a l'estranger el nombre d'empreses fabricants i grups de recerca dedicats a aprofundir en el desenvolupament de cobertes vegetades. A Espanya s'ha desenvolupat parcialment, tot i que ja són nombrosos els exemples d'edificacions que disposen d'aquest sistema constructiu.

No passa el mateix amb la **vegetació de façanes** d'edificis on els exemples arreu són escassos i els sistemes comercials dispersos en quant a l'estratègia d'implantació, sistema constructiu, espècies vegetals emprades.

S'ha de tenir en compte que des del punt de vista arquitectònic, és possiblement més fàcil fer ús d'un espai, la coberta, que conceptualment ha estat "recuperat" gràcies en part a la incorporació d'aquests sistemes. Mentre que abordar les façanes de l'edifici suposa fer incidència en la part més visible del disseny arquitectònic, i a més es fa amb un cert grau d'incertesa sobre el seu aspecte o acabat final, el qual serà variable en funció de la evolució de les plantes.

Pel que fa a les dades disponibles referents al funcionament d'aquests sistemes d'arquitectura vegetada, actualment ja es comencen a trobar referències sobre els avantatges de la utilització de cobertes vegetades, però hi ha poques referents a façanes.

D'altra banda, es constata que els sistemes constructius existents són molt diferents, especialment en el camp de les façanes vegetades, i es fa difícil poder contrastar dades obtingudes amb un o altre sistema, en un o altre clima, etc.

Resta doncs molta feina a fer en aquest camp, tant pel que fa a cobertes vegetades com a façanes vegetades.

Davant d'aquests fets, s'entreveuen dos aspectes fonamentals a abordar:

- Avançar en la obtenció de dades que permetin avaluar d'una forma objectiva els avantatges i desavantatges (aspectes funcionals) de la integració de vegetació i arquitectura, de manera que:
 - Es defineixin clarament quins són els avantatges i desavantatges, i quins són i com es mesuren els paràmetres que els regulen.
 - Permetin comparar-la amb d'altres sistemes.
 - Facilitin la presa de decisions en la fase de disseny.
 - Contribueixin a millorar la gestió posterior.
- Millorar i diversificar les solucions constructives existents, per tal que:
 - Es puguin adaptar a les diferents situacions en les que el projectista es pot trobar (adaptació a les condicions climatològiques locals, a les diferents tipologies constructives, als diferents usos de les edificacions, etc.).
 - Es puguin definir uns estàndards constructius comparables entre si, fins i tot en condicions climàtiques diferents.

Entre els diferents aspectes positius que s'atribueixen avui en dia a la vegetació d'edificis en destaca la seva possible utilització com a sistema passiu d'estalvi energètic en edificis.

Les referències prèvies sobre el funcionament de les cobertes vegetades com a sistema passiu d'estalvi d'energia, apunten que aquest té lloc mitjançant mecanismes com l'aïllament tèrmic que proporciona el substrat i les plantes, l'ombra que produeixen les plantes, i el refredament evaporatiu que té lloc conseqüència de la evapotranspiració des de les plantes i el substrat.

Tot i que els sistemes de façana vegetada són conceptual i constructivament diferents a les cobertes vegetades, els mecanismes principals que poden regular el seu potencial com a sistemes passius d'estalvi d'energia haurien de ser similars als de les cobertes, concretament la capacitat per a proporcionar ombra i el refredament evaporatiu. En aquest cas ja no és tant evident la seva contribució en forma d'aïllament tèrmic.

1.2. Objectius

1.2.1. Objectiu general

L'objectiu general d'aquesta tesi doctoral és la realització un estudi sobre els sistemes de vegetació de les façanes d'edificis i del seu possible ús com a sistema passiu d'estalvi d'energia en edificació.

1.2.2. Objectius particulars

- Caracterització dels aspectes funcionals, és a dir, dels avantatges i desavantatges de l'ús de vegetació integrada en l'arquitectura (cobertes i façanes).
- Caracterització dels sistemes constructius de façana vegetada disponibles actualment.
 - Característiques constructives i funcionals.
 - Definició de tipologies constructives i establiment d'una classificació.
- Caracterització de les espècies adequades per a façanes vegetades.
 - Característiques.
 - Fisiologia.
 - Tipus de creixement.
 - Caduca/perenne.
 - Definició de grups.
 - Adaptació dels grups als sistemes constructius.
- Estudi del potencial de les façanes vegetades com a sistema passiu d'estalvi d'energia en edificació.

1.3. Metodologia de treball

El desenvolupament d'aquest treball ha tingut lloc en quatre fases ben diferenciades.

- La primera ha estat durant la realització del treball de recerca del Diploma d'Estudis Avançats (DEA), en el qual s'ha abordat de forma general un estudi sobre l'estat de l'art de l'arquitectura vegetada, tant de cobertes com de façanes. D'una banda s'ha fet incidència

en els aspectes funcionals de la integració de vegetació en els edificis, i d'altra els grups de recerca i associacions que s'estan dedicant a aquests temes.

- En segon lloc, un cop acotada la temàtica a abordar en la tesi, és a dir les façanes vegetades, s'ha dut a terme un estudi més específic sobre l'estat de l'art d'aquests sistemes, contemplat des de tres vessants, des de l'àmbit empresarial, des de l'àmbit de la recerca, i finalment des de l'àmbit normatiu. Aquesta segona etapa ha posat de manifest un fet crucial en el desenvolupament de la tesi, que ha estat el evidenciar, la dispersió dels sistemes constructius emprats per a la vegetació de façanes, i en conseqüència la dificultat en interpretar i comparar les dades referents als aspectes funcionals (avantatges i desavantatges) d'aquests sistemes.
- En una tercera etapa doncs, i per tal d'evitar el mateix problema en el futur, s'ha proposat una classificació d'aquests sistemes verticals de vegetació d'edificis, i s'ha fet una valoració pròpia dels mateixos.
- Finalment, s'ha seleccionat una de les tipologies, concretament les façanes vegetades de doble pell o cortines vegetals, i s'ha aprofundit de forma experimental en el seu potencial com a sistema passiu d'estalvi d'energia, en condicions climàtiques locals (Clima Mediterrani Continental).

PRIMERA PART

Capítol 2. Aspectes funcionals de la vegetació d'edificis

En els darrers anys, s'ha anat enumerant per part de diferents autors tot un seguit d'avantatges i desavantatges associats a la vegetació de les construccions.

Aquests aspectes han estat estudiats, verificats i descrits en major o menor mesura, en funció dels autors, dels països, de la possibilitat d'obtenir dades objectives, del temps necessari d'experimentació, etc.

Atès que les **cobertes vegetades** fa anys que s'estan utilitzant arreu del món, hi ha un volum considerable d'estudis referents al seu funcionament.

Tradicionalment s'ha fet més incidència en els aspectes positius que no en els negatius de la vegetació de cobertes, ben segur que per raons purament comercials, ja que darrera moltes de les investigacions hi ha hagut les empreses que posteriorment ha comercialitzat els sistemes constructius.

D'altra banda, són escassos els treballs referents als aspectes funcionals de les **façanes vegetades**.

La majoria de treballs publicats referents a façanes deriven d'estudis duts a terme a Alemanya, de manera que hi ha una gran necessitat de recerca en la majoria d'aspectes d'aquesta tecnologia en altres parts del món [1].

Darrerament també s'està considerant la utilització de l'edificació en l'estratègia de vegetació urbana i en la relació amb el medi. Així, es considera que l'edificació com a suport de vegetació, té un paper determinant en l'estratègia de vegetació urbana que, com a part ineludible de la seva relació amb el medi, ha de disposar de la ciutat. La consideració de cobertes i façanes, és a dir, de la pell de l'edificació com a suport de diferents models de vegetació urbana, ha de ser convenientment estudiada i inclosa en la planificació urbana i en les ordenances corresponents [2].

En aquest sentit, les línies d'actuació possibles són, disposar d'una estratègia de vegetació urbana que consideri els efectes de la vegetació a escala territorial i urbana i la generació dels instruments legals que permetin que aquesta estratègia s'expressi a nivell d'edificació privada mitjançant la seva extensió a façanes, cobertes i mitgeres, així com a patis interiors i jardins particulars [2].

De forma general, es pot establir el següent llistat d'aspectes funcionals referents a la vegetació d'edificis:

Avantatges de la vegetació d'edificis

A escala de l'edifici:

- Regulació tèrmica d'edificis, amb el conseqüent estalvi energètic.
 - Aïllament tèrmic dels edificis.
 - Ombra. Interacció amb la radiació solar.

- Refredament evaporatiu.
- Variació l'efecte que el vent produïx sobre l'edificació.
- Aïllament acústic dels edificis.
- Protecció de les membranes impermeabilitzants, de la degradació per efecte dels raigs ultraviolats, per les fluctuacions de temperatura extremes, pel trànsit peatonal, etc.
- Habitabilitat dels espais oberts, tot proporcionant valuoses experiències des del punt de vista estètic i d'esbarjo.
- Producció d'aliments. Agricultura.
- Millora visual de l'edifici, especialment en mitgeres i façanes posteriors.

A escala urbana:

- Retenció de la pols i de partícules en suspensió de metalls contaminants que queden absorbits pel component planta – substrat.
- Retenció de l'aigua de pluja, disminució de les escorrenties i, mitjançant l'evapotranspiració, millora el grau d'humitat atmosfèrica.
- Reducció de l'efecte d'illa de calor en grans ciutats. Fomenta les corrents d'aire a través dels anomenats "passadissos verds" que poden connectar les zones verdes interiors (parcs i jardins), amb les anelles verdes de l'exterior. Renovació de masses d'aire a través dels passadissos verds urbans.
- Retenció de CO₂.
- Reducció del soroll.
- Augment de la biomassa i suport de la biodiversitat a la ciutat.
- Benefici per a la salut mental de la població, per l'efecte psicològic de substitució de la natura.

Desavantatges de la vegetació d'edificis

- Despeses associades, d'inversió inicial i de manteniment.
- Danys que la vegetació pugui produir en l'edifici.
- Sistemes constructius i tecnologia desenvolupats parcialment.

En el present capítol es comenten i es duu a terme una visió general d'alguns dels estudis més rellevants que s'han fet o s'estan duent a terme arreu del món referents als diferents aspectes funcionals relacionats anteriorment.

2.1. Avantatges de la vegetació d'edificis

2.2.1. A escala de l'edifici

2.2.1.1. Regulació tèrmica d'edificis - estalvi energètic

2.2.1.1.1. Aïllament tèrmic dels edificis

Una **coberta vegetada** ben dissenyada i gestionada pot esdevenir una bona eina d'aïllament tèrmic en períodes d'estiu, ja que es redueix el **flux tèrmic** a través de la coberta.

Els principals paràmetres que influeixen en aquest efecte són l'**índex d'àrea foliar (LAI)**, que representa la relació entre la superfície de fulles per unitat de superfície de sòl, així com l'**angle del fullatge**. Aquests dos factors determinen la capacitat de la vegetació com a eina per a produir ombra i per tant la transmissió de radiació d'ona llarga i curta.

D'altra banda, el **gruix de la capa de substrat**, la seva **densitat aparent**, i el seu **contingut d'humitat**, determinen la **difusivitat tèrmica del sòl**, la qual s'incrementa amb la densitat aparent i disminueix amb el contingut d'humitat.

L'**evapotranspiració** i la relació **d'intercanvi d'aire entre la vegetació i l'aire lliure**, juguen un paper molt important en l'**estat hidrotèrmic de la vegetació**, i a més tenen un efecte secundari en el flux de calor a través de la coberta.

Així, en dissenyar una coberta vegetada amb l'objectiu de reduir el flux tèrmic a través de la coberta en el període d'estiu, cal considerar els següents aspectes:

Seleccionar plantes amb un gran desenvolupament foliar, amb una distribució de les fulles principalment horitzontal, per tal de garantir la menor transmissió de la radiació solar possible.

Seleccionar sòls lleugers, per tal de reduir la conductivitat tèrmica i alhora el pes. Una gran capacitat de camp, serà característica positiva de cara a millorar l'aïllament (la difusivitat tèrmica disminueix amb la humitat), així com el creixement de les plantes. La torba pot ser una bona elecció.

Compte però, que fer òptims els criteris de disseny d'una coberta vegetada pensant solament en els beneficis a l'estiu pot ser una estratègia inapropiada per al seu funcionament a l'hivern [3].

La coberta vegetal en climes càlids i durant l'estiu actua com una coberta amb aïllant exterior, on, combinada amb aspectes propis de l'estació o del tipus de clima, poden ser suficients per a proveir de confort els espais interiors. En climes mediterranis, si es fa anar coberta vegetal es fa necessari l'ús d'aïllament, sobretot en les èpoques d'hivern [4].

En mesurar la temperatura dels espais interiors es va observar que la temperatura no superava els 30 °C en construccions amb la coberta vegetada, quan la temperatura exterior si era superior als 30 °C.

Les diferències estimades per a les temperatures de les superfícies exteriors cobertes o no per vegetació depenen del tipus d'aïllament de l'edifici.

Les necessitats energètiques d'escalfament i condicionament són inferiors en els edificis amb cobertes vegetades. Existeixen però diferències significatives en funció del tipus d'aïllament. En cobertes vegetades sense aïllament s'estimen uns estalvis al llarg de tot l'any del 37%, mentre que en cobertes vegetades moderadament aïllades són del 4%, i en cobertes molt aïllades els estalvis són del 2% [5].

En un estudi dut a terme en una escola bressol amb cobertes vegetades a Grècia, es van trobar beneficis a l'estiu en quant a l'estalvi energètic per al condicionament de l'aire interior, però no es va observar res significatiu en quant al consum energètic per a escalfament interior a l'hivern. Aquesta reducció del consum energètic a l'estiu pot arribar fins al 40 % [6] [7].

La utilització de cobertes vegetades en clima tropical pot suposar reduccions de les temperatures superficials a la coberta de 18 °C. A més el flux de calor a través de la coberta es veu reduït significativament. Fins a un 60% del balanç de calor és interceptat pel sistema.

Diferents paràmetres intervenen en el funcionament de la coberta, com per exemple el gruix del substrat, el **color del substrat**, el grau d'humitat del substrat, **la capacitat de cobriment de les diferents espècies vegetals**, etc. [8].

Estudis fets a Madrid durant els darrers quinze anys referents a cobertes enjardinades extensives conclouen que, en condicions d'hivern, les cobertes que tenen millor comportament són les que tenen un aljub de 8 cm, aïllades, independentment de la posició de l'aïllant, amb reduccions del consum del 70,65 % respecte d'una coberta invertida. En condicions d'estiu, les òptimes són les cobertes ecològiques amb aljub de 8 o de 16 cm, aïllades, que donen lloc a una reducció del 91,93 % del consum respecte d'una coberta invertida [9].

Mesures preses i simulacions amb models sobre cobertes vegetades suggereixen que, aquestes poden reduir la temperatura superficial de la coberta a l'estiu entre 10 °C i 30 °C. Redueixen la demanda de calor a l'hivern i la d'acondicionament a l'estiu en un 5% a 10% [10].

El flux de calor a través de les cobertes verdes és significativament menor i més uniforme durant el dia. Algunes de les cobertes experimentades (GR1) van mostrar lleugers guanys de calor a la tarda, confirmant l'efecte de massa tèrmica (Figures 1 i 2) [27].

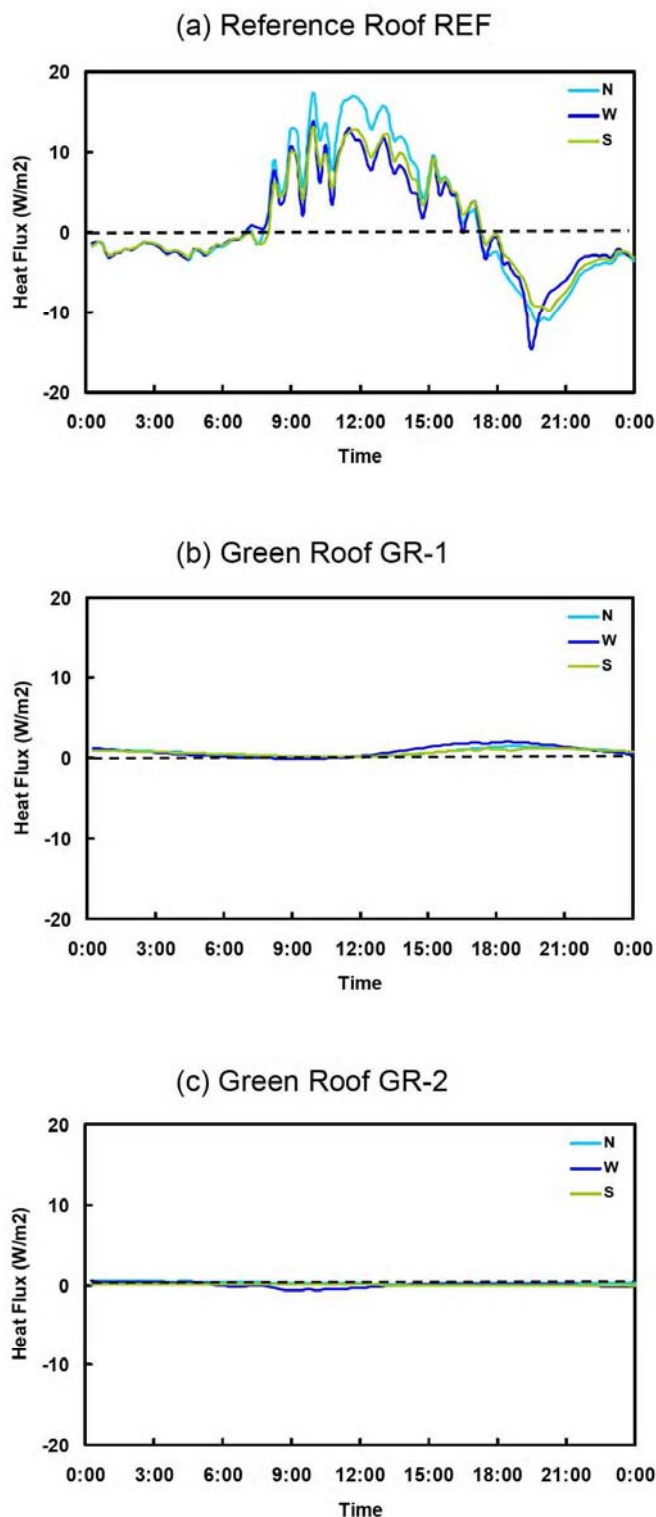
El flux de calor a través d'altres cobertes (GR2) va ser propera a zero, el que indica que va ser molt eficaç en la reducció del flux de calor entre l'edifici i el seu entorn a la primavera/estiu. Les cobertes verdes poden reduir el guany de calor a l'edifici a través dels mecanismes d'ombrejat, aïllament, evapotranspiració i massa tèrmica [27].

Finalment, l'efecte aïllant en una coberta vegetada es millora entre un 3 a un 10 %, respecte d'una coberta tradicional de grava. Dada vàlida per a Centre Europa [13].

En quant a **façanes vegetades**, la presència d'una barrera vegetal **bloqueja la transmissió de radiació** cap al interior però també cap a l'exterior, esdevenint una potencial eina d'aïllament.

Altres efectes interessants en quant a la regulació tèrmica en edificis són la capacitat de disminuir la **velocitat del vent** que incideix a les façanes de l'edifici, i la **modificació del clima de l'espai intermedi** que queda entre la pantalla vegetal i la façana de l'edifici.

La transmissió d'energia calorífica a través d'un mur de formigó és significativament inferior si aquest està recobert exteriorment per una capa de vegetació (Figura 3) [11].

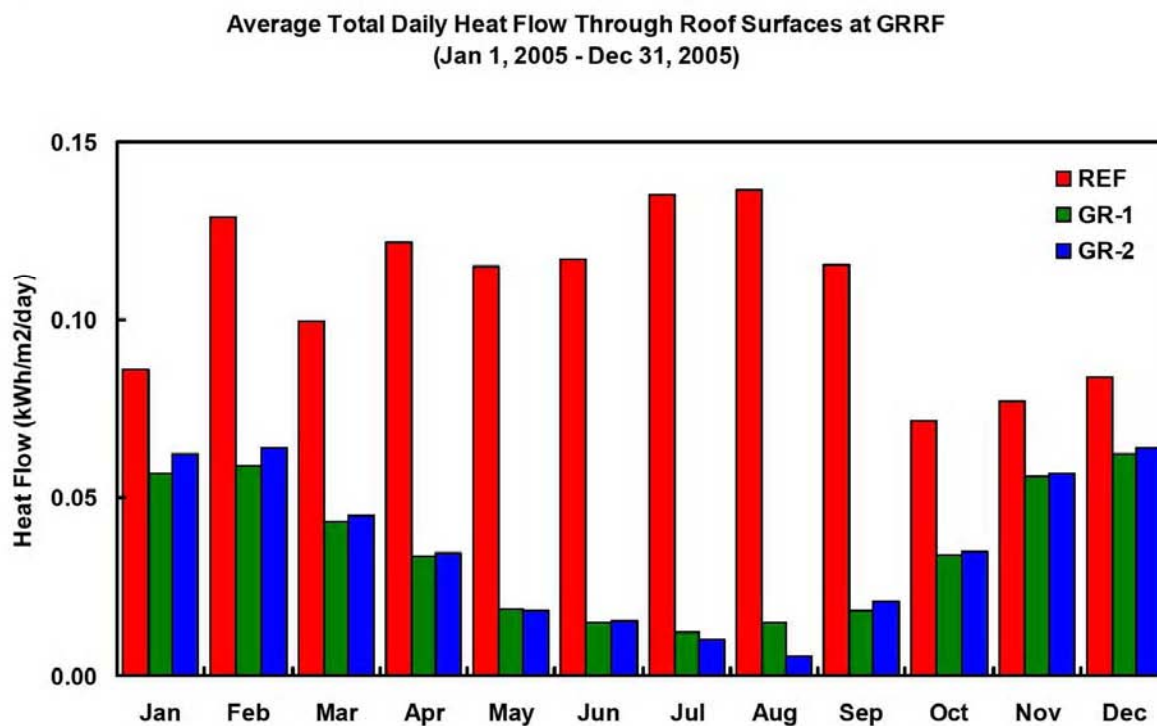


Heat flow through the three roof sections at the BCIT Green Roof Research Facility on a typical summer day (August 1, 2005). Each section contains three sensors – North (N), West (W) and South (S).

Figura 1. Flux de calor a través de dos cobertes vegetades

Centre for the Advancement of Green Roof Technology. British Columbia Institute of Technology. 2006 [27]

(a) by month



(b) by season

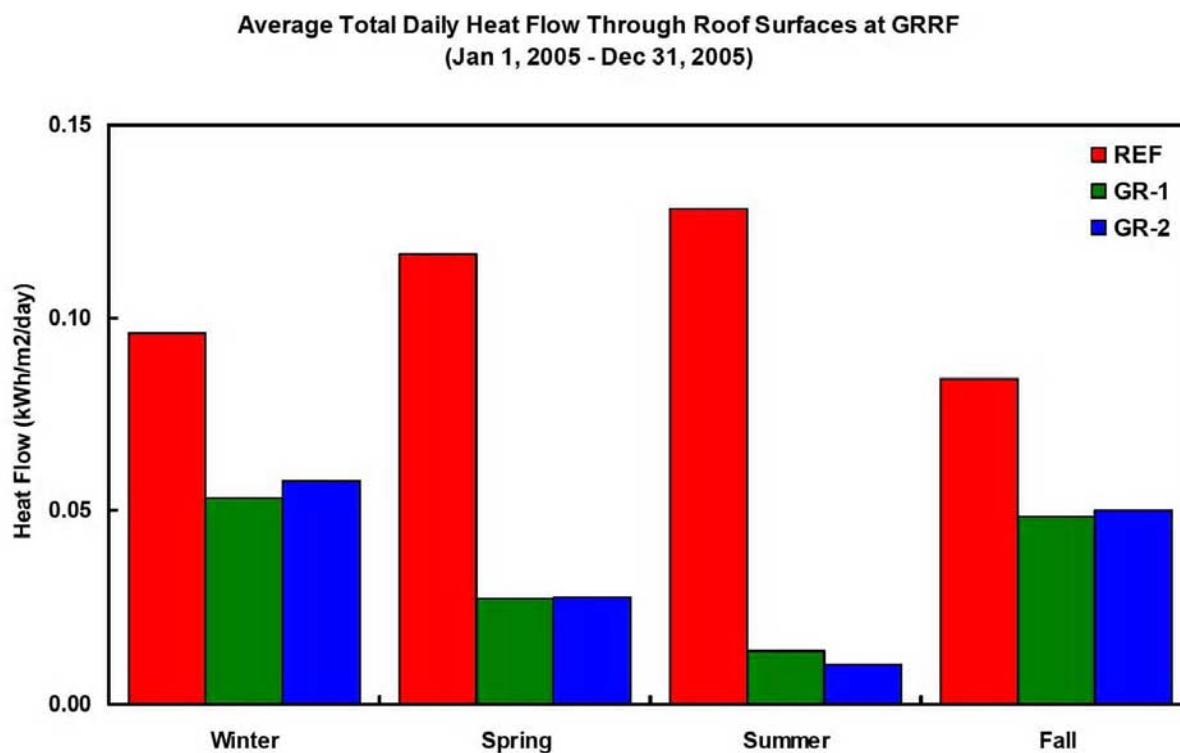


Figura 2. Demanda energètica mitjana diària deguda al flux de calor a través de la coberta.

Centre for the Advancement of Green Roof Technology. British Columbia Institute of Technology. 2006 [27]

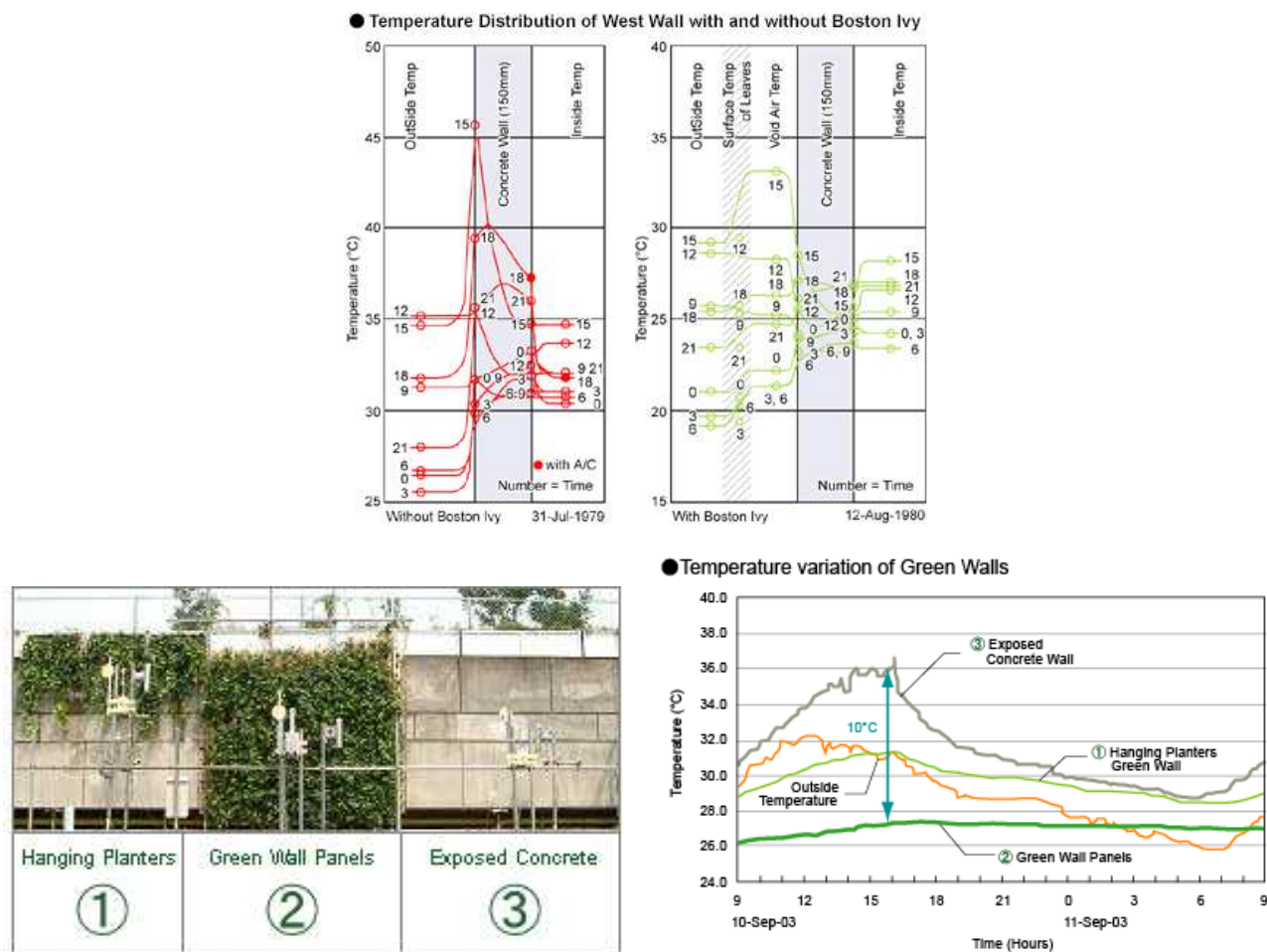


Figura 3. Distribució de temperatures a través d'una façana est, sense i amb heura.

http://www.greenrooftops.com/Benefits_EnergySavings_Detailed.aspx [11]

La presència d'arbres actua com a barrera i bloqueja la radiació tèrmica emesa per la superfície de la façana. Així, el rati del flux tèrmic entre la zona sense ombra i la zona ombrejada oscil·la entre 2 a 4 vegades superior [12].

En una façana tradicional recoberta d'heura es mesuraren, mitjançant sistemes de termografia infraroja, variacions de temperatures de fins a 5 graus per efecte aïllant, tant a l'hivern com a l'estiu [13].

En estudis sobre façanes es van mesurar fins a un 25 % de millora en les pèrdues de calor en una façana nord (Minke i Witter 1983), tot i que depèn dels nivells d'aïllament de l'edifici [1].

Finalment, són destacables els beneficis dels murs vegetals en quant a la conservació de l'energia emprada per a calefacció durant l'hivern [14].

2.1.1.1.2. Interacció amb la radiació solar. Ombra

Dels diferents estudis previs amb **cobertes vegetades** es dedueix que el factor que més influeix en el funcionament de les cobertes vegetades com a tècnica passiva d'estalvi energètic és la **densitat**

foliar, expressada per l'**índex d'àrea foliar (LAI)**, la qual influeix no tan sols sobre l'ombra si no també sobre la transpiració. S'ha determinat que un índex d'àrea foliar (LAI) gran, redueix la temperatura del cultiu, estabilitza les fluctuacions de les temperatures i redueix el flux de penetració.

Per evitar la radiació solar directa, l'estratègia habitual en espais exteriors és l'ombrejament. En aquest sentit una de les formes recomanables és la de cobrir els espais mitjançant vegetació, ja siguin arbres, pèrgoles lleugeres o cobertures compactes. La coberta vegetal pot obstruir totalment la radiació, és a dir, treballar amb una transmitància zero, si es superposen suficients capes de fulles. La seva absorbència dependrà del color de la fulla, però en general és alta. No obstant, a diferència de les superfícies inorgàniques, l'energia absorbida no l'escalfa, sinó que s'inverteix en d'altres funcions com la producció de biomassa, o l'autoregulació tèrmica mitjançant l'evapotranspiració, fet que permet mantenir la fulla en un marge de ± 1 °C.

A més, les cobertures vegetals tenen l'avantatge de permetre l'evacuació de l'aire calent i evitar la formació de bosses d'aire sobreescalfat. [15].

Estudis duts a terme sota pèrgoles cobertes de *Wisteria sinensis* plenament desenvolupada a Barcelona mostren valors del que l'autor anomena **Factor d'Ombra** d'un 1 – 2 % a l'estiu, i un 20 – 30 % a l'hivern (quocient entre la il·luminància sota de la pèrgola i la il·luminància exterior, és a dir, la quantitat de llum que passa a través de la pèrgola) [16].

La aplicació de plantes (arbres) per a proveir d'ombra els edificis és un mètode eficient de control passiu de la radiació solar. S'ha mesurat que la radiació solar incident en l'àrea ombrejada per arbres (100 W/m^2) és significativament inferior a la de l'àrea sense ombra (600 W/m^2) (Figura 4)[12].

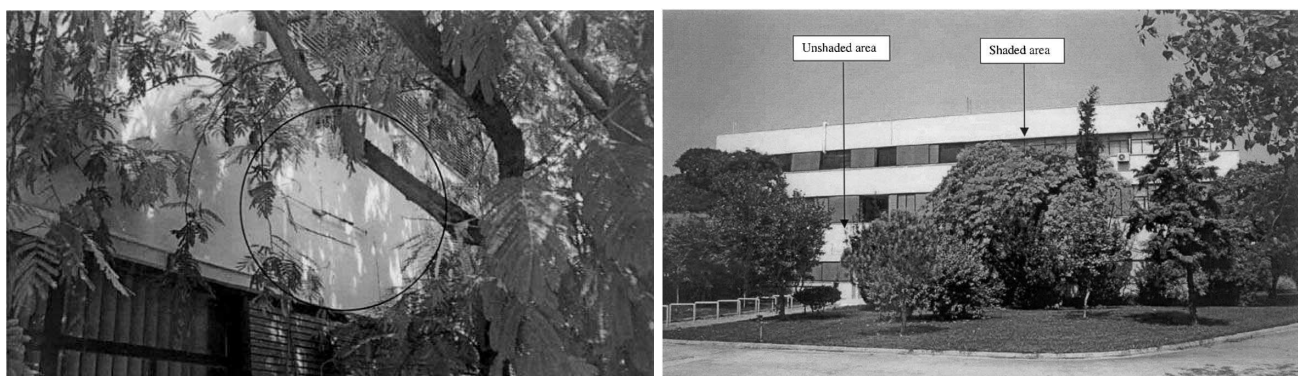


Figura 4. Localització dels instruments en la zona ombrejada de la façana [12]

La temperatura superficial a les cobertes vegetades varia en funció del tipus de vegetació i de la densitat. S'han mesurat temperatures inferiors en els llocs on la vegetació és densa i de color verd fosc respecte als llocs amb la vegetació menys densa i vermellosa, o en els llocs amb el sòl despul·lat [5].

En estudis fets en clima tropical, la transmissió de calor a través de les cobertes convencionals va ser molt més gran que en les cobertes vegetades, fins i tot en les zones no cobertes per les plantes. Aquest fet demostra que els beneficis tèrmics que aporten les cobertes vegetades són deguts als efectes combinats del substrat i la vegetació. Els sòls humits aporten un efecte aïllant suplementari tant de dia com de nit, mentre que la vegetació aporta la intercepció de la radiació solar durant el dia.

Amb la utilització de diferents tipus de vegetació les temperatures superficials mesurades van ser molt inferiors que en la superfície dura. La disminució màxima de la temperatura superficial deguda a les plantes va ser de 30 °C. La temperatura mesurada a sota de la vegetació va variar en funció de l'índex d'àrea foliar (LAI). En general es mesuren temperatures inferiors a sota d'un dens fullatge que a sota del substrat despul·lat [17].

Un dels factors que més influeix en el comportament tèrmic de les cobertes vegetades és la densitat foliar (LAI), el qual influeix sobre l'ombra i sobre la transpiració [18].

En un altre estudi d'avaluació de les cobertes vegetades com a protecció solar, es va determinar que un índex d'àrea foliar (LAI) gran, redueix la temperatura del cultiu, estabilitza les fluctuacions de les temperatures i redueix el flux de penetració al voltant de 4 W/m² [20].

L'ús de la vegetació en **façanes vegetades** com a element bloquejador de la radiació solar és evident, amb l'avantatge de que els elements tradicionals metàl·lics o de plàstic que es fan anar per a interceptar la radiació solar s'escalfen, i aquesta escalfor es torna a radiar cap als voltants de l'edifici, mentre que la vegetació no ho fa. La magnitud d'aquest efecte depèn fonamentalment de **la densitat del fullatge**.

Les temperatures de les diferents capes d'una façana de doble pell són en general inferiors si s'utilitzen plantes en contra de lames a l'espai interior. Per a la mateixa radiació solar, l'augment de la temperatura és dues vegades inferior en el cas de les plantes respecte de les lames. A més, la temperatura de les plantes no excedeix mai els 35 °C, mentre que a les lames pot excedir els 55 °C. La instal·lació de plantes en l'interior d'una façana de doble pell permet reduir el consum energètic del sistema d'acondicionament fins a un 20% [21].

El procés fisiològic que té lloc en les plantes implica que una petita part de la radiació solar incident es faci anar per a la fotosíntesi, i la resta s'empri en l'evaporació d'aigua, que fa anar la planta com a mecanisme de regulació de la temperatura. Aquest fet condueix a que la vegetació aconsegueixi un bloqueig efectiu de la radiació solar sense augmentar la seva temperatura. La transmissió d'una fulla és de 0,2 i la seva absorbància de 0,5. Realment, quant la radiació solar incideix en la vegetació, troba en el seu camí multitud de fulles. L'efecte combinat de la massa vegetal és que la transmissió i la reflectància es redueixin fins a pràcticament anul·lar-se [19].

En l'experiment "Bioshader", dut a terme en la universitat de Brighton, es va comparar una oficina amb la finestra coberta per vegetació amb una altra igual sense cobrir, i es van mesurar reduccions de les temperatures interiors de 3,5° C, amb màxims de fins a 5,6 °C.

Es mesurà també la transmissància solar del fullatge, la qual va variar des de 0,43, amb una sola capa de fulles, fins a 0,14 amb cinc capes de fulles, que es correspon amb una reducció de la radiació solar que travessa del 37% per a una capa, fins al 86%, amb cinc capes de fulles (Figures 5, 6 i 7) [22].

Així doncs, l'ombra directa és possiblement el benefici més evident de la vegetació. Les façanes vegetades ofereixen una ombra estètica i útil. Si bé requereixen un cert manteniment, però ofereixen similars efectes d'ombra que d'altres sistemes artificials amb un plus de refredament evaporatiu [13].

Com a resultat de l'ombra natural de la vegetació les façanes vegetades contribueixen a l'estalvi energètic en edificacions per a l'acondicionament dels mateixos. La magnitud d'aquest efecte depèn de la densitat del fullatge. L'hora és l'espècie que ofereix el màxim efecte refredador, comparable a l'efecte d'ombra dels arbres [1].

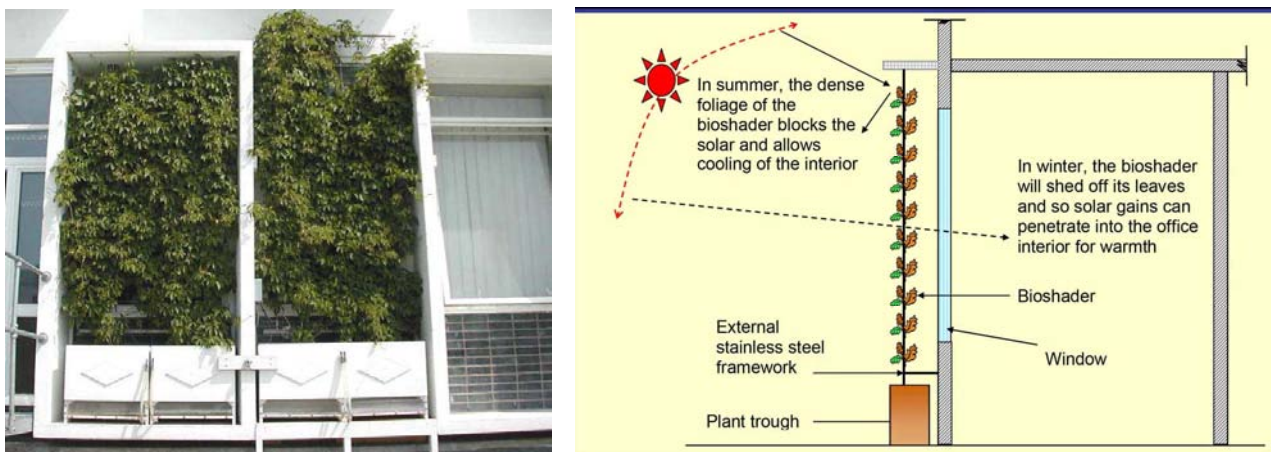


Figura 5. Experiment "Bioshader" [22]

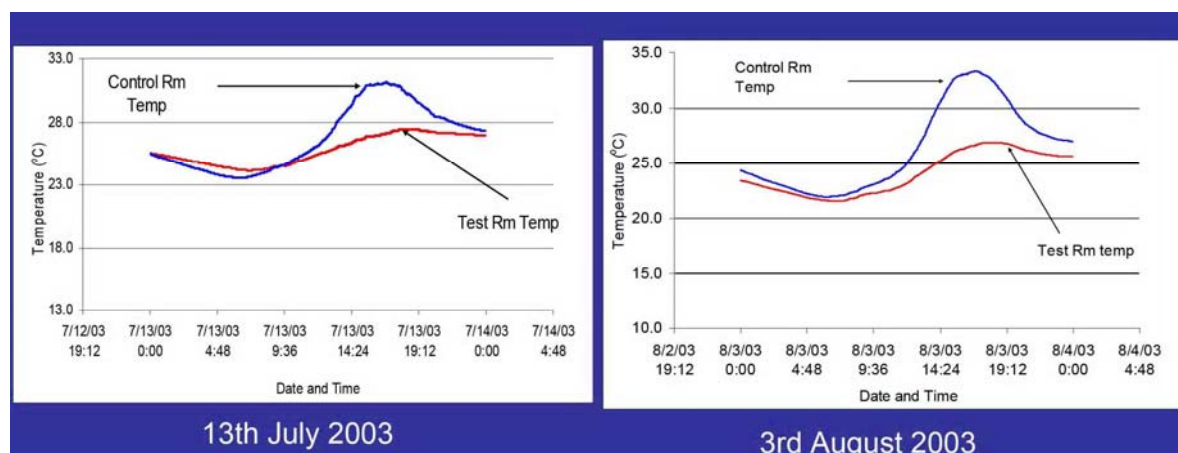


Figura 6. Experiment "Bioshader". Distribució de temperatures [22]

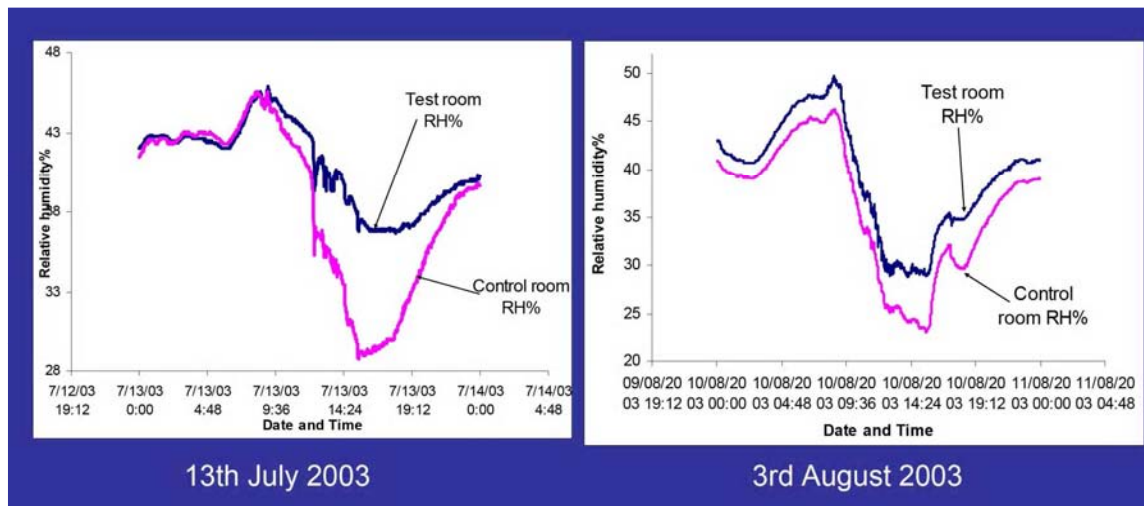


Figura 7. Experiment "Bioshader". Distribució de la humitat relativa [22]

2.1.1.1.3. Refredament evaporatiu

Per a que tingui lloc el procés de l'**evapotranspiració**, cal energia. Aquest procés físic genera l'anomenat "**refredament evaporatiu**", que suposa uns 2450 Joule d'energia per cada gram d'aigua evaporada. Aquesta energia es capta de l'ambient, donant lloc a un refredament del mateix. Aquest refredament evaporatiu des de les fulles i el sòl, depèn del **tipus de planta i de l'exposició**. També influeixen les **condicions climàtiques**, ja que en ambients secs o per l'efecte del vent s'incrementa la evapotranspiració. Un altre factor fonamental és la **humitat del substrat**.

Mesures dutes a terme a les **cobertes vegetades** a l'Institut de Físiques de Berlin - Tempelhof mostren que el 58% del balanç de radiació pot ser convertit en evapotranspiració durant els mesos d'estiu, contribuint al refredament de l'entorn.

En comparació, les cobertes convencionals poden convertir fins al 95% del balanç de la radiació en calor, tot escalfant l'ambient proper.

La vegetació de façanes encara pot tenir un impacte més significatiu en el balanç energètic de l'edifici, ja que va ser mesurada una evapotranspiració mitjana entre juliol i agost entre 5,4 i 11,3 mm d'aigua per dia, depenent del pis, amb un valor de refredament mitjà de 157 kWh per dia [23] [24].

L'efecte refredador és 10 vegades superior en una coberta vegetada que en una coberta tradicional de grava. En una coberta vegetada extensiva, es poden evaporar entre 2 a 3 mm diaris d'aigua de pluja [13].

Si es vol evaporar gran quantitat d'aigua cal que el substrat estigui permanentment humit, fet pel qual sovint la disponibilitat d'aigua pot ser un factor limitant.

En cobertes vegetades extensives, un reg addicional pot millorar la seva capacitat evaporativa, ja que l'evapotranspiració té lloc tant des de les plantes com des del substrat. A Centre Europa més del 80% de la pluja anual retorna des de la coberta vegetada per mitjà de l'evapotranspiració, podent

ser superior aquesta dada si el sistema està regat. Així doncs, amb pluges anuals de 600 l/m², són evapotranspirats fins a 480 l/m². L'efecte refredador és de (480 l x 2.670 kJ) al voltant de 356 kWh per any [1].

Un estudi sobre el comportament tèrmic de les cobertes vegetades a Itàlia revela que el paper del flux latent de l'evapotranspiració és bastant important. A l'estiu amb el substrat sec es disminueixen les entrades de calor cap a l'interior en un 60% respecte de una coberta tradicional. Això és degut especialment a la reflexió i a l'absorció de la vegetació essent limitada l'aportació de l'evapotranspiració. A l'hivern, amb el substrat humit, tot el flux de calor és aturat i fins i tot es mesura una petita aportació refredadora deguda a l'evapotranspiració [25].

Les **condicions climàtiques** juguen un important paper en el funcionament de les cobertes verdes com a tècnica de refredament, essent la **humitat relativa ambiental** el factor climàtic més important, ja que els ambients secs augmenten l'evapotranspiració i per tant les capacitats refredadores. D'altra banda, la **velocitat del vent** té un efecte similar, tot i que no tan gran, ja que el vent fa que el vapor marxi dels voltants de les fulles i s'incrementa l'evapotranspiració [18].

En clima tropical, l'efecte refredador de les plantes va ser confirmat tot mesurant la temperatura ambient a diferents alçades. La diferència màxima de temperatura va ser 4,2 °C. D'aquest estudi se'n dedueix que l'efecte refredador està limitat per la distància (alçada) [17].

Pel que fa al funcionament de les **façanes vegetades**, com s'ha comentat anteriorment, aquestes requereixen manteniment, però ofereixen similars efectes d'ombra que d'altres sistemes amb un plus de refredament evaporatiu i bellesa [13].

El projecte de l'Institut de Física de la universitat de Humbolt de Berlín – Adlershof, combina la gestió de l'aigua de pluja i l'estalvi energètic, amb el condicionament natural per mitjà de façanes vegetades i el condicionament amb mitjans tècnics. Tant l'ombra creada per les plantes com l'efecte refredador influeix en el consum energètic de l'edifici, esdevenint una veritable climatització passiva (Figura 8) [1].

El refredament evaporatiu per les fulles i el sòl depèn del tipus de planta i de l'exposició. A les mesures del projecte de Berlin-Adlershof, un test d'un metre amb 40 cm de profunditat de substrat regat artificialment mitjançant aigua de pluja prèviament emmagatzemada, amb dos plantes de Wisteria, ha evapotranspirat anualment al voltant de 2 litres. Això suposa 2 x 2.670 kJ, els quals suposen un efecte energètic de al voltant de 1,483 kWh de càrrega de refredament per any [1].

Així doncs, l'evaporació d'aigua, és el sistema més barat i efectiu de refredar un edifici. Un metre cúbic d'aigua evaporada consumeix 680 kWh. Vegetar les cobertes i les façanes d'un edifici dona lloc a una significativa evapotranspiració addicional, la qual suposa un alt potencial de reducció de les temperatures de les superfícies dels edificis i millora l'ambient interior i al voltant de l'edifici. La

evapotranspiració és el benefici mediambiental més important de les cobertes i façanes vegetades en àrees urbanes. Aquesta influeix en la hidrologia urbana, en la reducció de les temperatures de les superfícies i millora la gestió de l'escorrentia de l'aigua de pluja [24].

D'altra banda, en l'experiment "Bioshader" dut a terme en la universitat de Brighton, es va comparar una oficina amb la finestra coberta per vegetació amb una altra igual sense cobrir, i es verificà que el nivell d'humitat de l'oficina amb el Bioshader va ser permanentment més elevat que la oficina sense aquest mecanisme, tot demostrant que l'ús de vegetació proveeix d'una quantitat d'humitat ambiental extra al sec ambient interior [22].

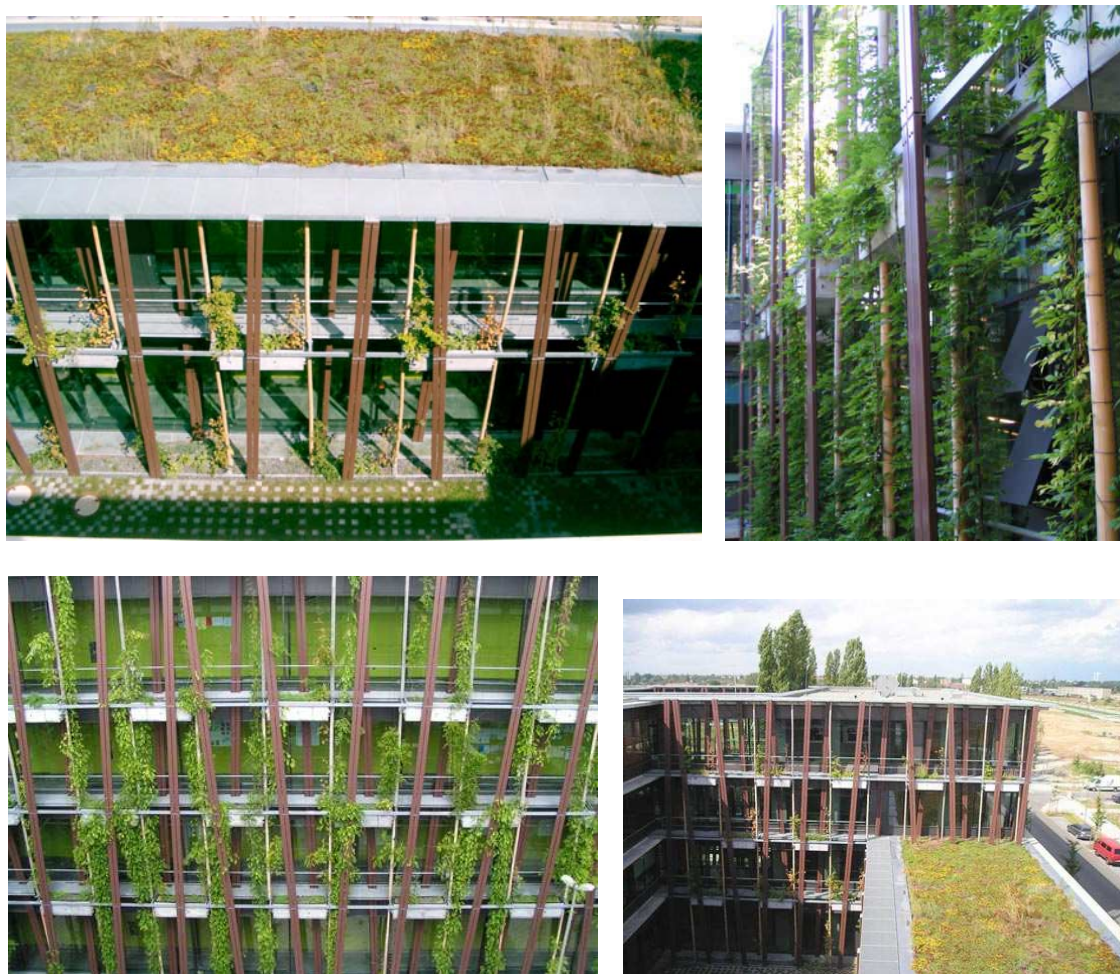


Figura 8. Institut de Física de la Universitat de Humbolt

Fotos, http://www.gebaeudekuehlung.de/en_regenwasser.html [1]

Finalment, l'efecte refredador degut a l'evapotranspiració de les plantes (arbres), resulta en una disminució de les temperatures al voltant de l'edificació. L'aigua evaporada pels arbres pot incrementar la humitat absoluta fins a 1 - 2 kg d'aigua per m³ d'aire sec [12].

2.1.1.1.4. Variació de l'efecte que el vent produïx sobre l'edificació

El grau de protecció contra el vent que ofereix una barrera depèn bàsicament de la **velocitat i direcció del vent**, de les **dimensions de la barrera** (alçada, amplada i longitud), de la **densitat i penetrabilitat** del material que la constitueix i finalment de la seva **forma**.

En considerar l'ús de la vegetació com a element modificador de l'efecte del vent sobre les edificacions, cal tenir especial cura en no obstruir la ventilació a l'estiu, així com no afavorir les corrents d'aire a l'hivern [16].

Una de les formes en que els sostres verds poden augmentar l'eficiència energètica d'un edifici és pel bloqueig del vent. A l'hivern, el vent fred juga un paper crucial en la reducció de la temperatura dins dels edificis. Fins i tot en els edificis hermètics, el vent redueix l'eficàcia de l'aïllament ordinari. Protegint l'edifici del vent fred, la demanda de calefacció es pot reduir en un 25% [26].

S'ha de tenir en compte la capacitat de disminuir la velocitat del vent que incidiria a les façanes de l'edifici, així com la modificació del clima que té lloc en l'espai que queda entre la pantalla vegetal i la façana de l'edifici. Aquest efecte pot arribar a compensar l'efecte negatiu de les pantalles vegetades a l'hivern, degut a l'efecte de l'ombra [14].

2.1.1.2. Aïllament acústic dels edificis

Estudis previs en façanes vegetades indiquen reduccions entre 2 a 5 dB, depenent del **tipus de planta** emprada. Pel que fa a cobertes vegetades, es pot reduir fins a 5 dB en comparació de les cobertes convencionals, depenent del **tipus de sòl** i vegetació emprats [1].

Un interessant exemple de la utilització de la vegetació amb l'objectiu millorar l'aïllament acústic d'un edifici és el Almeida Theatre a Londres (Figura 9) [53].



Figura 9. Almeida Theatre. Haworth Tompkins. Clarke Associates. Londres. 2001 [53]

2.1.1.3. Protecció de la membrana impermeabilitzant

Les cobertes vegetades cobreixen la membrana impermeabilitzant tot protegint-la dels raigs ultraviolats i de les fluctuacions de les temperatures extremes diàries. Això allarga la vida d'aquestes membranes fins a dues vegades més que la seva durada sota una coberta tradicional.

Cal tenir en compte doncs, l'estalvi que suposa la utilització d'aquesta mena de coberta en quant a despeses de manteniment i reparació de les membranes de coberta conseqüència de l'aparició de danys vinculats a la degradació de les mateixes (Figura 10)[27].

En general es pot dir que la vegetació a la part superior d'una coberta prolonga la vida útil de la mateixa de tres maneres. En primer lloc, protegeix les capes de la membrana externa i el sostre dels raigs ultraviolats, fet que alenteix l'envelliment de la coberta. En segon lloc, protegeix el sostre de perforacions, esquinçaments i altres danys físics, conseqüència de l'acció de persones, les deixalles i el temps.

Per últim, el sostre verd protegeix el sostre dels canvis extrems de temperatura a l'estiu, de les gelades a l'hivern, reduint els danys ocasionats per aquestes causes (Figura 11)[26].

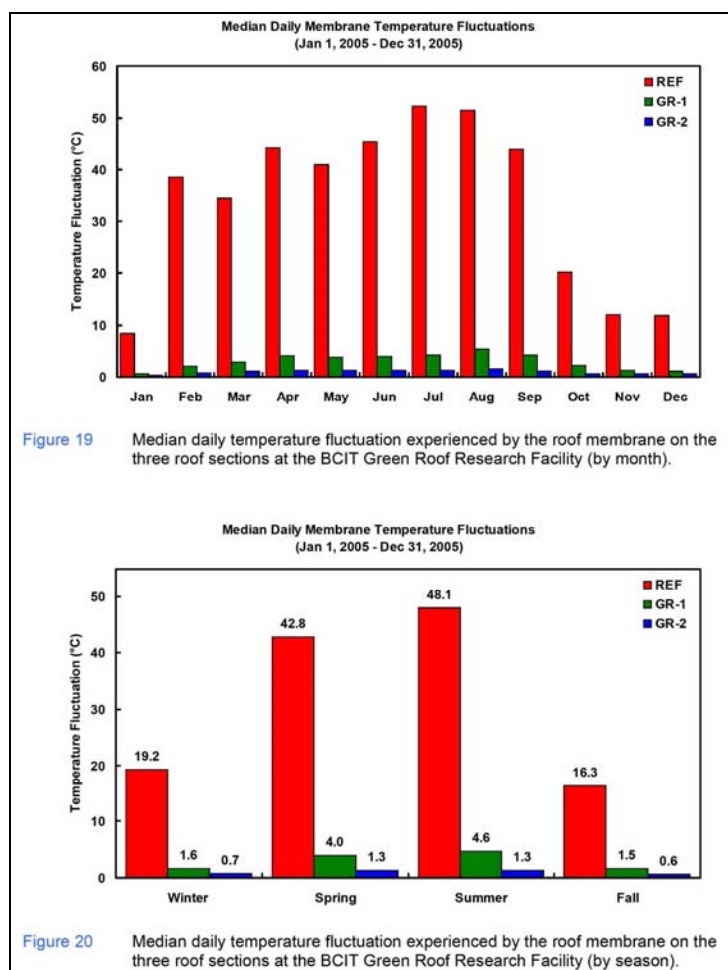


Figura 10. Temperatura de la membrana de coberta de dos cobertes vegetades
Centre for the Advancement of Green Roof Technology. British Columbia Institute of Technology. 2006 [27]

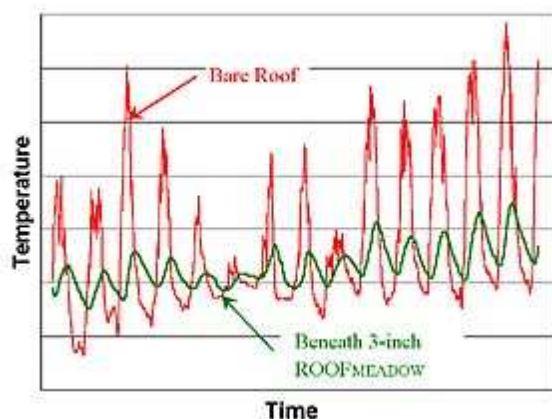


Figura 11. Comparació de temperatures amb i sense vegetació

Font: Roofscapes Inc. Green Roof benefits, 2004 [26]

2.1.1.4. Habitabilitat dels espais oberts

La majoria de les superfícies de sostre són utilitzades per les persones. Mitjançant la construcció de cobertes enjardinades, l'àrea disponible per a l'oci, recreació o vida silvestre es pot augmentar. S'estima que a Londres, els edificis i conseqüentment les cobertes, representen el 16% de la superfície de la capital, el que equival a prop de 24.000 hectàrees. A través del procés de reconversió i renovació, una part important d'aquestes zones podrien ser utilitzades per a la recreació i la vida silvestre conservant al mateix temps el desenvolupament d'hàbitats i la densitat d'equipament urbà al carrer [28].

Malgrat les nombroses ressenyes bibliogràfiques que poblen els prestatges sota l'epígraf "coberta", són escassos els volums que tracten la coberta com un espai susceptible de ser viscut. Amb el seu ús, la coberta es transforma en un espai arquitectònic més, amb molts llocs comuns, i amb no poques singularitats [29].

Així doncs, degut a que l'ús de les cobertes vegetades per a esbarjo és possible, cal preveure l'ús d'espècies vegetals que permetin ser trepitjables, així com criteris de disseny propis de la jardineria i de la composició arquitectònica que permetin desenvolupar propostes realment útils per als usuaris (Exemples d'aplicació. Figura 12 [54], i Figura 13 [55]).

2.1.1.5. Producció d'aliments

L'objectiu principal de l'anomenada **permacultura** és crear sistemes que siguin ecològicament viables, que cobreixin les necessitats, que no explotin o contaminin el medi ambient, i que siguin sostenibles. Per això, utilitza les qualitats pròpies de les plantes i els animals, combinades amb les característiques naturals del paisatge per produir un sistema que sostingui la vida, a la ciutat i al camp, utilitzant la menor àrea possible. Encara que no fos creada inicialment amb aquest propòsit, la permacultura pot aplicar-se a la ciutat. En aquest entorn urbà, la permacultura té un aspecte molt més social i ecològic, passant a un segon pla l'autosuficiència que es busca en el marc rural.



Figura 12. Pavelló de Gimnàstica. El Refiro. Iñaki Ábalos y Juan Herreros. 2003 [54]



Figura 13. Coberta vegetada. Londres 2009 [55]

La paraula permacultura, tal com diu el seu creador Bill Mollison, és una contracció no només d'agricultura permanent sinó també de cultura permanent, sostenible, ja que les cultures no poden sobreviure per molt de temps sense una base agrícola sostenible i una ètica de l'ús de la terra.

La **permacultura urbana** tendeix a fer que es tornin a produir aliments a les àrees urbanes i a redissenyar o remodelar els edificis per tal que estalviïn i produeixin la seva pròpia energia. Per aconseguir aquesta finalitat cal potenciar estratègies i utilitzar tècniques que permetin desenvolupar un disseny solar adequat. Això només serà possible si tenim en compte tant les consideracions climàtiques (força dels vents, règim de pluges, temperatures, etc.) com l'aprofitament d'estructures passives (enreixats, aïllaments, materials de bioconstrucció, etc.) [30].

Així, en les cobertes vegetades es poden desenvolupar plantes ornamentals, però també fruites i verdures. El cultiu d'aliments en cobertes vegetades proporciona oportunitats com el suport de l'economia local, productes frescos de la ciutat, així com alguns ingressos per ajudar a mantenir la mateixa coberta verda. Un exemple d'això és el Fairmount Waterfront Hotel a Vancouver, que té una coberta verda en la que creixen herbes, flors i hortalisses. Ells estimen que com a conseqüència de la seva pròpia producció, s'estalvia 30.000 \$ per any en costos. Tanmateix, hi ha dificultats per a la producció d'aliments en una coberta, ja que cal més esforços i costos de manteniment, cal preveure un sobredimensionament de l'estructura per a aquest ús, etc. [26].

Hi ha països amb una gran tradició de producció de fruits en espatlleres recolzades a les façanes dels seus edificis. En quant a les cobertes, hi ha dificultats en quant a la limitació de l'espai de cultiu, tot i que comencen a sorgir exemples en diferents parts del món, com per exemple arrossars en cobertes vegetades a Xina [1].

2.1.1.6. Millora visual de l'edifici

Amb la utilització de cobertes vegetades es millora visualment l'estètica de l'edifici especialment els que presenten cobertes a diferents alçades i aquells molt baixos o d'una sola planta.

Pel que fa a les façanes, hi ha un gran potencial a desenvolupar en quant a la millora visual de les façanes mitgeres dels edificis amb diferents alçades i que conseqüentment deixen al descobert aquestes façanes (Exemples d'aplicació. Figures 14, 15 [56], i Figura 16 [57]).

L'ús de plantes enfiladisses per millorar el bon disseny arquitectònic (i en alguns casos per dissimular mal disseny) és factible i desitjable. Encara més interessant pot ser la seva utilització per a millorar les imatges produïdes en les façanes posteriors de les edificacions modernes, sovint lletges i depriments.

El benefici més evident que es pot obtenir en fomentar el creixement de plantes en façanes, és la millora visual. En 1983, l'administració de la Ciutat de Kassel a Alemanya va llançar una campanya animant a la gent a fer créixer plantes enfiladisses. Es va posar èmfasi en l'acció comunitària, i l'administració subministrava coneixements especialitzats i, en alguns casos la mà d'obra [31].



Figura 14. Ocultació de façanes i mitgeres a Barcelona [56]

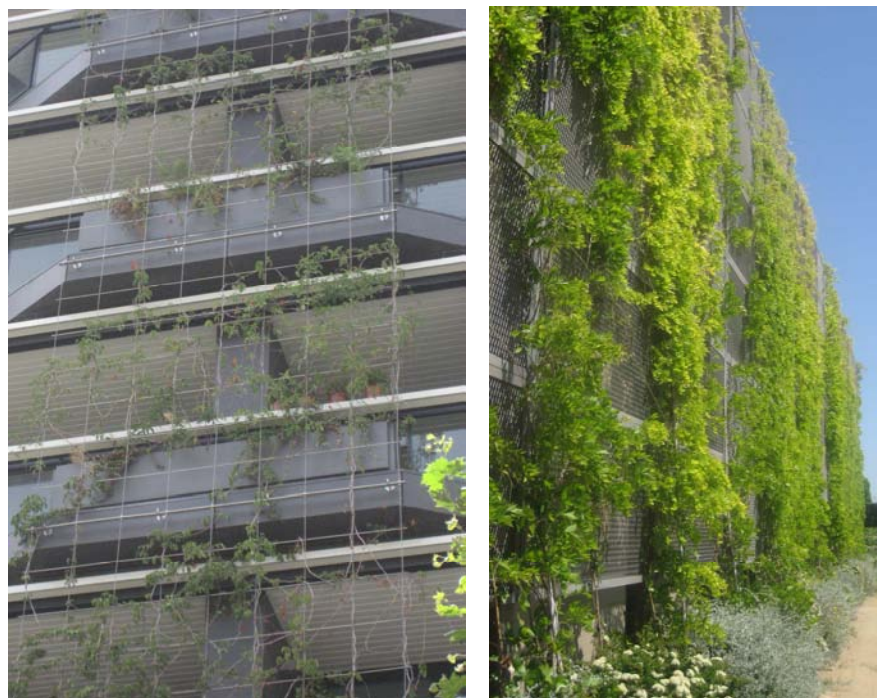


Figura 15. Façanes vegetades. Barcelona i Golmés [56]



Figura 16. Parc MFO. Raderschall Landschaftsarchitekten AG. 2002. Zurich, Suïssa [57]

2.2.2. A escala urbana

2.2.2.1. Retenció de pols i contaminants

La contaminació química de l'aire té lloc per l'aparició de substàncies que no formen part del que es considera "aire net", o per la modificació de les concentracions existents. Aquests contaminants poden estar a l'aire de forma gasosa i també de forma sòlida o líquida (partícules).

En el cas de la vegetació com a agent captador de contaminació atmosfèrica, les partícules es dipositen en la superfície de les plantes d'acord a tres processos:

- Sedimentació per gravetat.
- Impacte per remolins d'aire.
- Deposició per precipitació.

La sedimentació predomina en el cas de partícules de grans dimensions, depenent de la velocitat i de la densitat de la partícula i de la seva forma. L'impacte és la principal forma de deposició quan les mides de la partícula són de l'ordre de les 10 micres o més, la mida de l'obstacle és de l'ordre del centímetre, la velocitat d'aproximació de l'ordre de m/segon o més gran i la superfície a sobre de la que té lloc l'impacte està humida, enganxosa, o és peluda, etc.

Els contaminants gasosos passen a la vegetació per combinació de les forces de difusió i el flux de moviment de l'aire. Els gasos poden unir-se o dissoldre's en la superfície exterior, o bé els pren la planta a través dels estomes, fonamentalment quan la planta està seca o els gasos tenen baixa solubilitat en l'aigua [32].

Estudis duts a terme en una façana de parra verge (*Parthenocissus tricuspidata*), en un carrer estret i molt transitat a Düsseldorf, indiquen que pot ser fixat fins al 4% de les emissions de pols i contaminants en l'interior de les ciutats. Es va estudiar l'addició d'elements (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb), des de l'inici del seu creixement a la primavera, fins a la caiguda de les fulles a la tardor. L'estudi va revelar que la major concentració d'aquests elements té lloc a 2 metres d'alçada. Tot i això, la capacitat de fixació depèn del tipus de vegetació emprat, de la seva estructura, especialment de l'estructura de les fulles [33].

La vegetació pot reduir la contaminació atmosfèrica per mitjà del filtrat de partícules i per l'absorció de gasos. La capacitat de la vegetació per filtrar i absorbir els contaminants depèn de les **condicions meteorològiques**, del **tipus i la concentració dels contaminants**, de la **topografia local**, la ubicació de la plantació i la naturalesa de la **vegetació**.

La vegetació proporciona una gran superfície de filtratge de partícules, que inclouen el pols, metalls pesats i microbis patògens. Espècies vegetals amb una gran **superfície foliar - amb pèls** en les fulles per exemple - són les més eficients.

En mesurar la pols dipositada en les fulles dels arbres a París durant dues setmanes, s'obtenen captures de 2,735 g de pols per 100 g de fulles en el cas dels oms, i de 0,936 g de pols per cada 100 g de fulles de llimoneres. Molts dels contaminants de l'aire, inclosos els nitrats i compostos orgànics volàtils, poden ser absorbits a través dels estomes de les fulles i posteriorment metabolitzats per les plantes [28].

Les fulles poden absorbir una bona la proporció de pols i partícules de l'atmosfera urbana. Un carrer amb arbres pot tenir només el 10-15% de la pols que trobem al mateix carrer sense arbres. Les fulles de plantes enfiladisses proporcionen una gran superfície capaç de filtrar la pols, els contaminants i, possiblement, fins i tot els virus [31].

Així doncs, el potencial de les cobertes vegetades per a capturar pols i contaminants és considerable. **Valors elevats del pH del medi** de cultiu milloren la fixació de metalls contaminants [1]. En els darrers anys s'ha incrementat l'interès per les implicacions de les partícules fines de l'atmosfera en la salut humana. Les partícules de matèria amb un diàmetre inferior a 10 µm (PM₁₀) ha esdevingut l'estàndard de mesura d'aquesta forma de pol·lució de l'aire, especialment per a les funcions respiratòries dels humans.

La vegetació és un eficient interceptor d'aquesta mena de partícules, per interacció directa de les diferents parts de la planta, especialment les fulles.

A les microfotografies dutes a terme en fulles d'heura, tant a prop d'una carretera com al mig del bosc, s'observen diferències en la composició de les partícules. La majoria de les partícules investigades són d'origen natural/geològic (partícules de sorra). En quant a la distribució de les partícules, la majoria pertanyien a la mida de les PM₁₀, amb una elevada concentració en la zona entre 0 – 4 µm (Figura 17) [34].

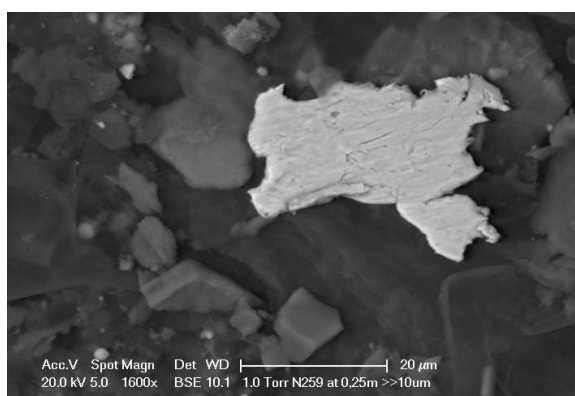


Figura 17. Microfotografia de partícules a sobre d'una fulla d'heura [34]

2.2.2.2. Gestió de l'aigua de pluja

Un dels principals aspectes funcionals de les cobertes vegetades és el de la gestió de l'aigua de pluja. En zones de clima amb excés de pluja i amb fenòmens de precipitació quantiosa i continuada,

les cobertes vegetades es consideren com un efectiu sistema en l'estratègia global de control de l'escorrentia superficial i reducció dels problemes en les xarxes de clavegueram (Figures 18 [58], 19 [27] i 20 [36]).

D'altra banda, en climes amb precipitacions anuals baixes, l'estratègia és la d'emprar aquests sistemes de coberta en la captació i aprofitament d'aquest recurs.

Les cobertes vegetades retenen l'aigua de pluja, reduint la quantitat d'aigua d'escorrentia i retardant el pic d'escorrentia al voltant d'un parell d'hores. Aquest fet permet disminuir els problemes als sistemes de sanejament i clavegueram en època de pluges a les àrees urbanes. La retenció anual de precipitació pot oscil·lar entre el 30 al 80% de la precipitació [13].

El 75% de l'aigua de pluja pot ser retinguda a curt termini en cobertes verdes, i el 15-20% d'aquest volum es pot mantenir durant un màxim de 2 mesos. Una coberta de sedum de 25 mm de gruix sobre un llit de grava de 50 mm, pot retenir fins al 58% d'una precipitació de 100 mm. En una tempesta de 50 litres per metre quadrat de precipitació, un sostre vegetat de 60 mm de gruix pot retenir fins a 25 l/m², és a dir, la meitat de la precipitació. En una tempesta de 200 mm, i per a un sostre de 18 m² i 10 mm de gruix, solament 15 litres d'escorrentia van arribar a terra. Les cobertes vegetades doncs, són un efectiu sistema urbà de drenatge a Alemanya, on l'atenuació de l'escorrentia es considera un dels beneficis més importants de les cobertes verdes [28].

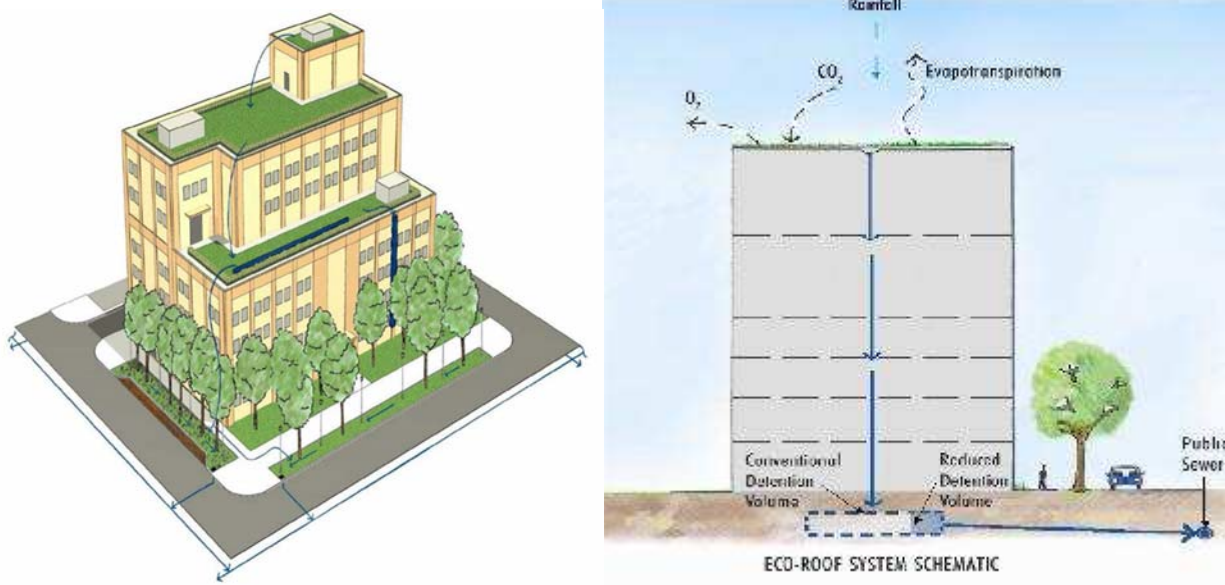


Figura 18. Gestió de l'aigua de pluja. Font: Seattle Green Factor. DrewGangnes, P.E. [58]

Les cobertes verdes a nivell local poden alleugerir la sobrecàrrega dels sistemes de clavegueram municipal tot estabilitzant el flux d'aigua i la reducció de l'escorrentia pluvial anual en un 70% a 90%. Durant 15 mesos compresos entre el 2002-2003, es va dur a terme un estudi realitzat a Pòrtland, Oregon (EEUU), sobre els efectes de la utilització de sostres verds en la retenció d'aigües pluvials. Es va

calcular que una coberta vegetada de 10-12 mm podria conservar el 69% del total d'escorrentia [26].

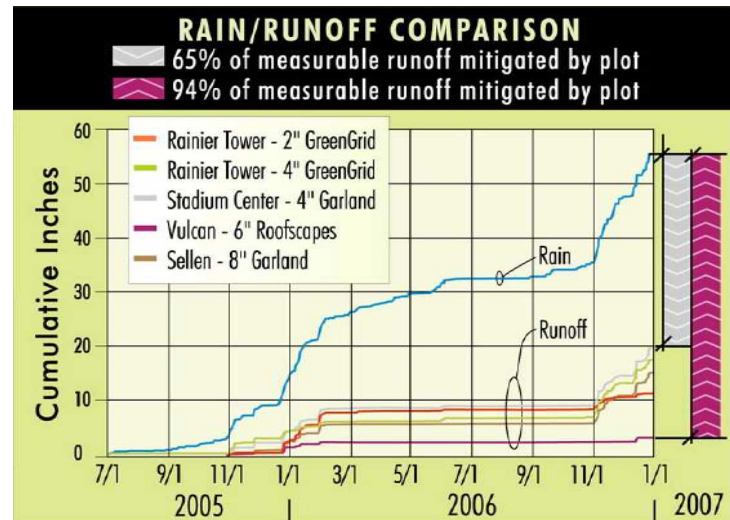
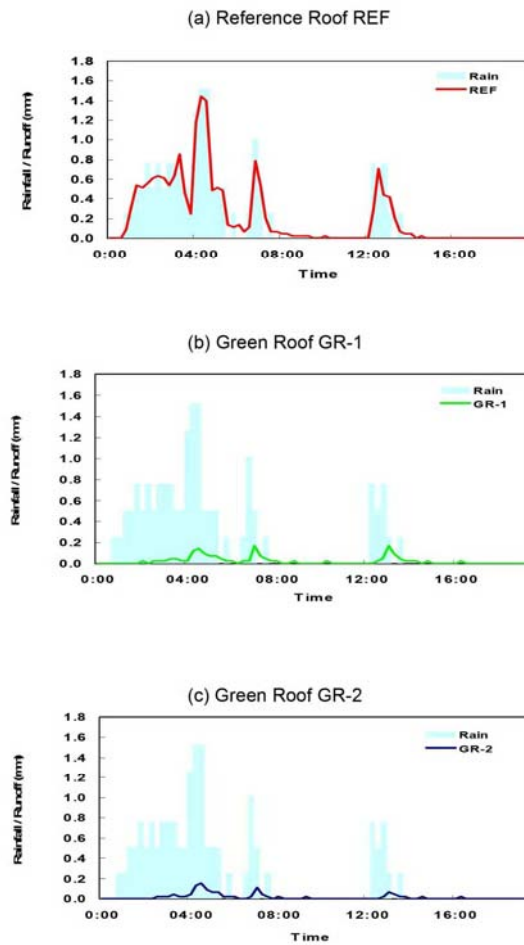


Figura 18 . Gestió de l'aigua de pluja. Font: Seattle Green Factor. DrewGangnes, P.E. (continuació) [58]

L'eficiència de les cobertes vegetades extensives depèn de les seves **dimensions i del seu gruix**. En funció del **tipus de substrat** i del seu gruix, poden capturar entre 11 a 30 l/m² [13].

Estudis fets per a cobertes vegetades de *Sedum album* mostren que **el pendent de la coberta no afecta** directament sobre el comportament de l'escorrentia (pic del flux i volum d'escorrentia). D'altra banda, el **contingut d'aigua del sòl** si que influeix en la capacitat de retenció de la coberta vegetada. Així, si el sòl està sec, es requereixen entre 6 a 12 mm per a que s'iniciï l'escorrentia, mentre que si el sòl està humit, l'inici d'aquesta és pràcticament immediat [35].

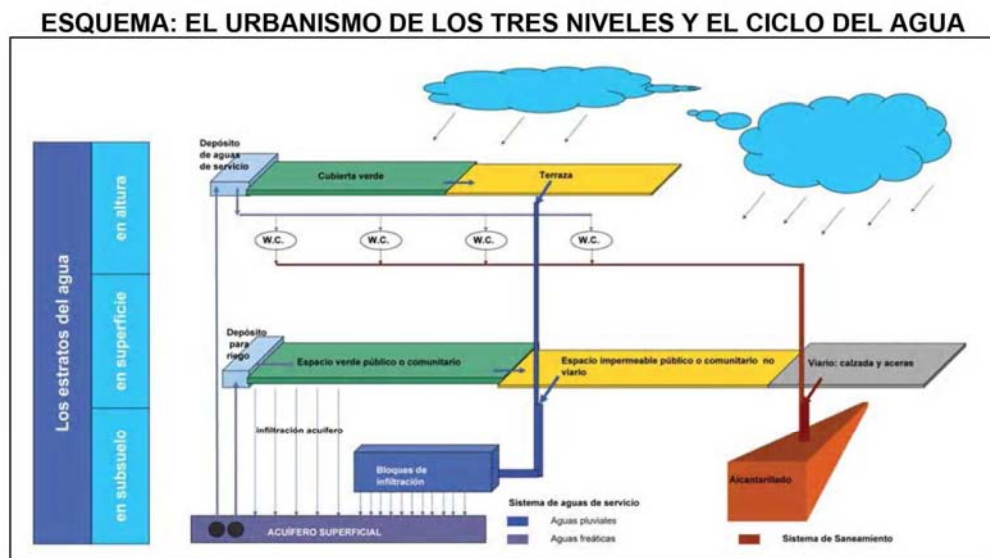
La recuperació d'aigua en alçada és una de les diferències destacades en l'anomenat urbanisme dels tres nivells, respecte de l'ús de l'aigua en l'urbanisme tradicional (Figura 20) [36].



Reference roof and green roof runoff comparison during the June 17th rain event. 18 mm of rainfall were recorded over 12 hours and 45 minutes.

Figura 19. Comparació de l'aigua d'escorrentia en un esdeveniment de pluja puntual.

Centre for the Advancement of Green Roof Technology. British Columbia Institute of Technology. 2006 [26]



Propuesta conceptual de aprovechamiento de aguas pluviales para recirculación a través del acuífero en el Prat Nord

Figura 20. Cicle d' l'aigua a l'urbanisme dels tres nivells [36].

2.2.2.3. Reducció de l'efecte d'illa de calor a les grans ciutats

Les superfícies impermeables com cobertes i carrers influencien en el microclima urbà tot augmentant les temperatures al voltant dels edificis i consegüentment afectant darrerament a l'interior dels mateixos incrementant el desconfort i la quantitat d'energia utilitzada per a condicionar-los [37]. Una possible solució a aquest problema és l'ús de cobertes i façanes vegetades, les quals consumeixen energia calorífica a través de l'evapotranspiració.

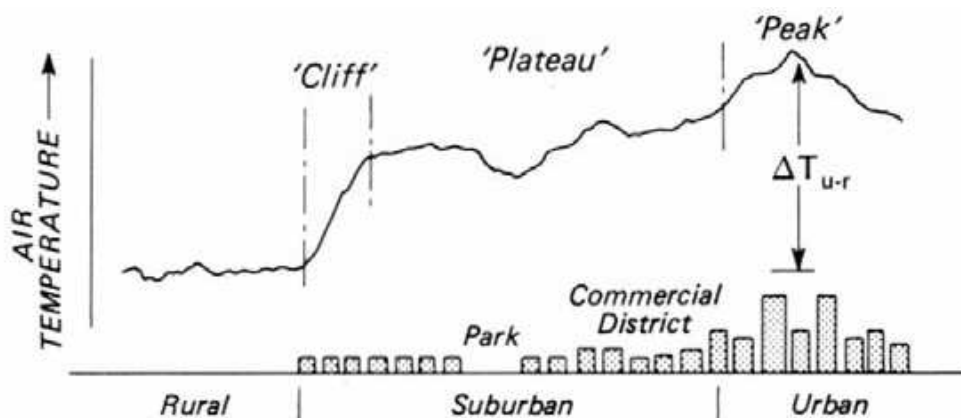


Figura 21. Secció longitudinal de l'efecte d'illa de calor urbana. Oke 1987 [37]

L'efecte illa de calor urbà (figura 21 [35]) és causat per una varietat de factors, com els d'origen antropogènic (calor de la combustió, de les persones, etc.), menor refrigeració per evaporació de la vegetació, menys vent fred als carrers, la configuració dels carrers, la calor solar emmagatzemada en el teixit urbà, etc. Les ciutats tenen grans superfícies d'asfalt i altres materials foscos que tenen un baix albedo, o reflectivitat, donant lloc a l'absorció de calor radiant del sol i re-radiació en la nit. Les cobertes tradicionals de grava poden estar fins a 21 °C més calentes que les cobertes amb vegetació. La vegetació té un albedo més gran que la majoria dels materials de construcció i, a més, proporciona refrigeració a través de l'evapo-transpiració [28].

A més, els espais verds i les cobertes vegetades contribueixen a la barreja vertical d'aire, de manera que la temperatura per sobre d'ells tendeix a ser menor que el de les zones circumdants construïdes. L'aire calent s'eleva per sobre de les superfícies dures i es substitueix per aquest aire fresc reduint així l'efecte illa de calor [31].

La vegetació pot ajudar a millorar la qualitat de l'aire local per mitjà de la reducció de l'"smog" i la producció d'oxigen. L'"smog" es pot reduir de dues formes, amb la disminució de les partícules suspeses a l'aire i reduint la temperatura. A causa de l'espai disponible en les ciutats, la plantació d'arbres i arbusts no és sovint una opció viable. Així, les cobertes vegetades és configuren com una interessant opció que utilitza un espai tradicionalment oblidat [26].

Durant l'estiu les cobertes vegetades, respecte de les tradicionals de grava, donen lloc a reduccions de fins al 50% en l'amplitud de les temperatures superficials extremes [13].

En estudiar el potencial de la vegetació, incorporada en l'evolvent de l'edifici, en la disminució de les temperatures urbanes per a diferents climes, es va observar que en climes secs i molt calorosos l'efecte de la vegetació sobre les temperatures urbanes és major, tot i que també els climes humits es poden beneficiar, especialment si estan vegetades tant les cobertes com les façanes.

En tots els climes estudiats, les façanes vegetades tenen un efecte més rellevant en la disminució de les temperatures dins del canó urbà, mentre que les cobertes actuen més a nivell urbà. En general, els millors resultats s'obtenen quan es combinen tots dos, cobertes i façanes [38].

Els estudis fets amb models suggereixen que les cobertes vegetades poden arribar a reduir l'efecte d'illa de calor urbana al voltant dels 2 °C, tot millorant la qualitat de l'aire, el confort tèrmic i la salut humana, amb estalvis en el consum elèctric del 5% al 10% [10].

El model de "sustainable city block" per a la capital de Filipines, Metro Manila, va ser dissenyat per alleujar l'impacte de les zones densament poblades, mitigar l'illa de calor i millorar la comoditat, des del punt de vista tèrmic, dels espais a l'aire lliure a les ciutats del sud-est asiàtic. Aquest model demostra que la temperatura de la superfície del terra i de les cobertes pot ser inferior a la temperatura de l'aire mitjançant l'ombrejament i la refrigeració per evaporació (Taula 1 i Figures 22 i 23) [39].

Planning conditions	Floor area ratio	200 % (Gross)	Taking in 2000 persons/ha with 10 m ² floor space per person
	Building height	20 m · 5 floors or less	Shading building by large trees
	Void area ratio	300 % (Gross)	Considering 5 floors volume
	Ratio of green coverage	30%	Aiming for ratio of green coverage in suburb
Design disciplines for thermal environment conscious	Shading	Buildings and outdoors space are shaded by large trees Shading building roof from high altitude solar radiation using planted pergola	
	Evaporative cooling	Soil and evaporative cooling pavement systems are used on the ground Water-retained ground is shaded to maintain cooling effect	
	Ventilation	Building has pilotis and voids	

Taula 1. Principis de disseny per a una ciutat compacta sostenible [39]

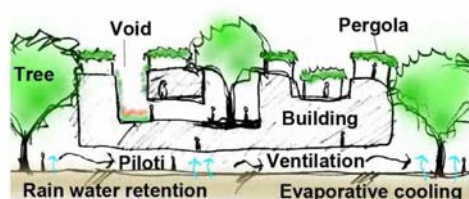


Figure 6 An image of thermal environment conscious building following the design disciplines

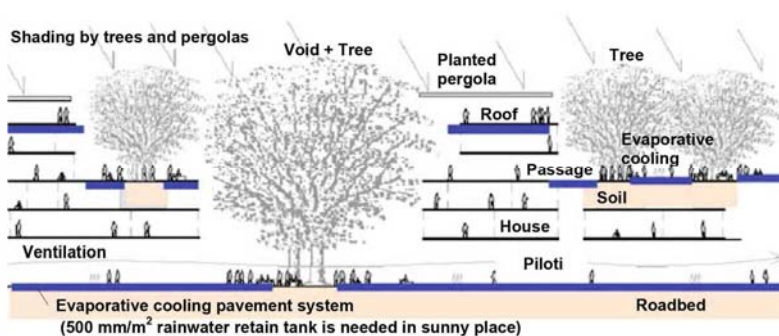


Figura 22. Secció transversal d'una ciutat compacta sostenible [39]

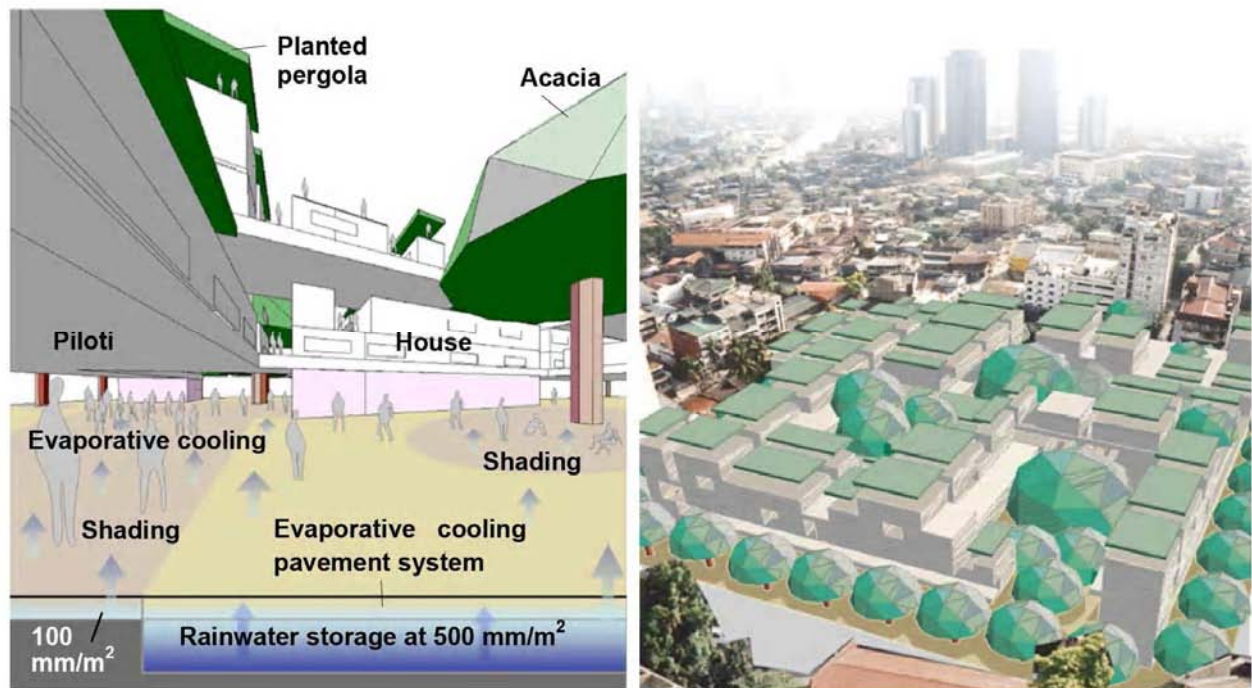


Figura 23. Perspectiva d'una ciutat compacta sostenible [39]

2.2.2.4. Retenció de CO₂

A través de la fotosíntesi, les plantes converteixen el CO₂, l'aigua i l'energia solar en oxigen i glucosa, reduint així les emissions de CO₂ a l'atmosfera. És evident que una única coberta vegetada no elimina el CO₂ suficient per tenir una incidència sobre l'escalfament global, però moltes cobertes vegetades i zones enjardinades poden tenir un impacte significatiu [26].

Molts científics estan buscant mètodes per eliminar el carboni atmosfèric i emmagatzemar-lo en altres llocs en un estat estable. L'ús de plantes per a fer això es coneix com a segrest de carboni terrestre. A través del procés de fotosíntesi, el diòxid de carboni s'elimina de l'atmosfera i s'emmagatzemen com carboni a la biomassa.

Amb l'objectiu de quantificar el potencial d'emmagatzematge de carboni d'una àmplia gamma de cobertes vegetades i avaluar l'efecte de les espècies en el flux de carboni es van dur a terme dos estudis. El primer estudi es va realitzar en vuit cobertes a Michigan, EUA, i quatre a Maryland, EUA, que van des d'un any a sis anys d'edat. De mitjana, aquestes cobertes emmagatzemaren 162 g C/m² a la biomassa superficial. El segon estudi va ser realitzat en el sostre de l'Edifici de Ciències del Sòl al campus de la Universitat Estatal de Michigan a East Lansing, MI. Vint parcel·les van ser establertes el 21 d'abril de 2007, amb un substrat de 6,0 cm de profunditat. Els resultats per al primer any mostren que a la part aèria dels vegetals s'emmagatzema una mitjana de 248 g C/m², sense diferències significatives entre les espècies. La biomassa soterrada (arrels) emmagatzema una mitjana de 63 g C/m², amb diferències entre espècies. El substrat emmagatzema una mitjana de 349 g C/m².

D'aquestes dades preliminars, és fàcil veure com els sostres, que normalment són espais no utilitzats, proporcionen una oportunitat única per segrestar carboni [40].

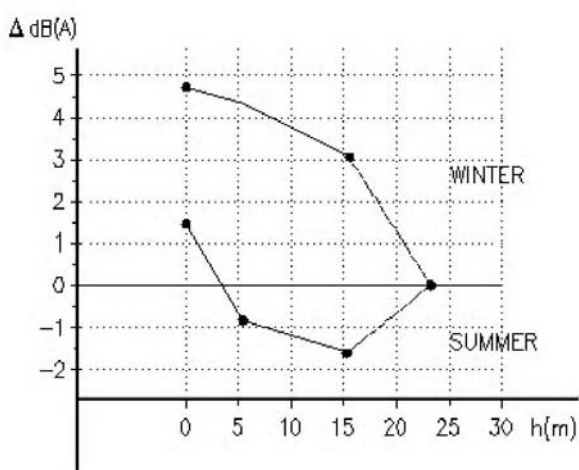
2.2.2.5. Reducció del soroll urbà

En general es pot considerar que l'efecte d'aïllament acústic de la vegetació és petit, oscil·lant les reduccions entre 5 a 10 dB. Els factors que condicionen el seu funcionament com a aïllant acústic són múltiples, com el **tipus d'espècie**, les **dimensions de la pantalla**, la seva **forma**, i la seva **ubicació** respecte la font del soroll.

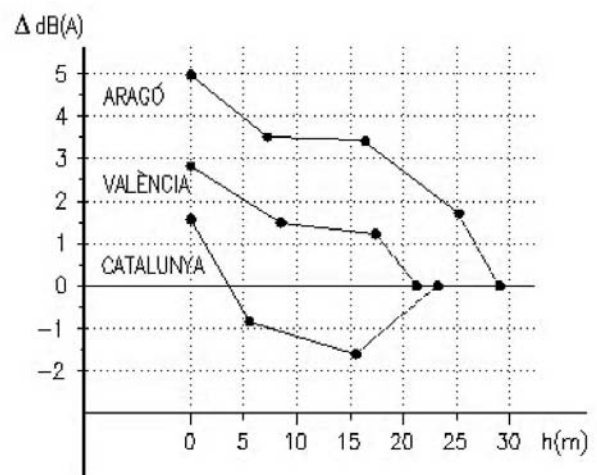
La vegetació per ella mateixa, és capaç de reduir els nivells de soroll fins a 8 dB, i ocasionalment més [41].

S'ha estimat que fins a un 20% de la població de la Unió Europea està sotmesa a nivells de soroll que els experts consideren per damunt de l'acceptable per a la salut. Les pantalles acústiques sovint estan fetes de formigó, o terra. Tot i que les tanques de vegetació no són una barrera eficaç del soroll, el sòl de les cobertes enjardinades pot esdevenir una útil barrera al so. Un sostre verd pot reduir el so dins d'un edifici per 8 dB o més en comparació amb un sostre convencional [28].

Estudis duts a terme en carrers de Barcelona, s'observa que l'arbrat contribueix tímidament a la reducció del soroll urbà. En la figura 24 es mostren les diferències de soroll entre un punt de referència situat en la coberta de l'edifici i d'altres a diferents alçades. Els valors arribaren a 1,5 dB de diferència per efecte de les fulles de l'arbrat a l'estiu [16] [42].



URBAN NOISE DIFFERENCES BETWEEN SITES AT VARIABLE VARIABLE HEIGHT OF THE BUILDING AND REFERENCE TOP POINT FOR RAMBLA CATALUNYA



URBAN NOISE DIFFERENCES BETWEEN SITES AT VARIABLE VARIABLE HEIGHT OF THE BUILDING AND REFERENCE TOP POINT FOR THE DIFFERENT STREETS

Figura 24. Diferències en el soroll urbà entre punts situats a diferents alçades [16] [42]

2.2.2.6. Augment de la biomassa i suport de biodiversitat a la ciutat

La vegetació associada als edificis serveix de refugi a moltes espècies animals (ocells, insectes, etc.), sigui de forma permanent, o bé de pas entre grans àrees verdes (parcs i jardins), fet que millora quantitativa i qualitativament la biodiversitat de les ciutats (Figura 25 [56], i Figura 26 [59]).

Cal tenir en compte aquest fet en el disseny final de les façanes i cobertes vegetades, de manera que s'afavoreixi l'establiment d'aquesta fauna.

No cal oblidar-se però que portaran associades plagues i malalties que caldrà afrontar.

S'ha de tenir present que socialment, aquesta mena d'animals no són gaire benvinguts, fet que comporta que el que suposadament és un avantatge, sigui percebut socialment com un desavantatge.

El principi d'incorporació funcional dels edificis als ecosistemes definit per Sukopp i Werner considera que els edificis no haurien de ser considerats com "obstacles" ecològics. A les zones densament edificades es poden incrementar els espais vitals per a plantes i animals, aprofitant les teulades i murs exteriors [43].

La vegetació de façanes és una interessant possibilitat d'aconseguir superfícies verdes a les zones densament desenvolupades. Les façanes vegetades exerceixen també influències positives en el benestar general, com ara bons efectes en la psique del públic i una millora del clima urbà. Les façanes tenen únicament una funció limitada com biòtops, ja que són molt poques les plantes espontànies que poden colonitzar-les. En aquest cas, s'haurien d'utilitzar espècies autòctones. En la majoria dels casos seran necessàries mesures per millorar el sòl i per ajudar a les plantes a enfilar-se. Les façanes vegetades constitueixen àrees vitals per a ocells, insectes fitòfags i depredadors i aranyes, i juguen una important funció com biòtops al centre urbà. A Berlín s'han fet esforços per reemplaçar les zones verdes perdudes a causa de la construcció, per cobertes i façanes vegetades [43].

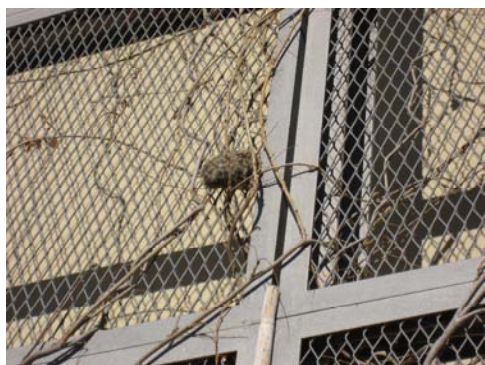


Figura 25. Niu a Golmés. Façana vegetada de dos anys [54]

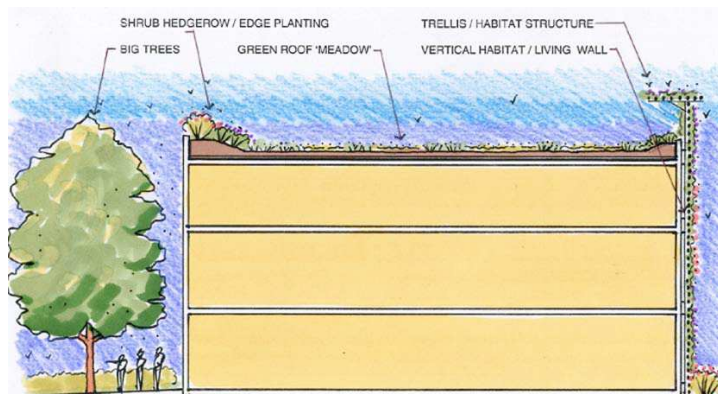


Figura 26. Connexió entre hàbitats. Font: Sharp and Diamond [57]

Els beneficis potencials per a la biodiversitat dels hàbitats integrats en edificis són:

- Proporcionar nou hàbitat de vida silvestre en zones que actualment no en tenen.
- La creació de nous vincles en una xarxa d'hàbitats fragmentada, cosa que facilita moviment i la dispersió de la vida silvestre.
- Hàbitat per a la preservació d'espècies més rares, protegides o d'una espècie important.

Hi ha però una escassetat d'informació relativa a la fauna de les cobertes vegetades. En una mostra de 11 cobertes a l'àrea de Basilea, Suïssa, van ser observades 172 espècies diferents d'escarabat, 60 d'aranyes, i 25 espècies d'aus. L'estudi va demostrar que la **capacitat del sostre per retenir l'aigua** és un factor clau per atraure els escarabats [28].

Les cobertes vegetades més atractives per a la vida silvestre són les que subministren quatre necessitats bàsiques: alimentació, protecció, aigua i una zona per reproduir-se. Tanmateix, fins i tot si tots aquests requisits no poden ser satisfets en una sola coberta, aquesta ofereix un valuós enllaç dins de la ciutat amb tota la xarxa d'espais lliures. Insectes com les abelles i les papallones poden ser atrets pels jardins de sostre sempre que existeixi una bona font de nèctar. Estudis als Estats Units mostren que les papallones poden visitar els jardins situats tan alts com vint pisos. El sòl serà una casa per a les aranyes, cucs, escarabats i formigues [31].

Estudis previs reflecteixen que les façanes vegetades tradicionals poden donar lloc a produccions de biomassa de fins a 23 tones per hectàrea i any, tot i que les diferències entre espècies són significatives. En cobertes vegetades extensives es tendeix per concepte a emprar espècies de baixa producció de biomassa, ja que el que es pretén és el manteniment mínim [1].

Tot i que cal tenir clar que l'arquitectura vegetada revaloritza la ciutat des del punt de vista medi ambiental, mai podrà reemplaçar a la natura. Estudis duts a terme en cobertes vegetades ja establertes demostren que sovint els substrats inicials de base antropogènica que s'utilitzen no són els més idonis per a l'establiment de biodiversitat, però que aquests, amb el temps van incorporant més matèria orgànica i van madurant, fet que promou l'establiment de diverses espècies, tot millorant la biodiversitat urbana [44].

Les cobertes vegetades s'han considerat sovint com alternatives molt pobres per al desenvolupament de biodiversitat, poblades solament per espècies pioneres de pas, i per petites espècies que viuen en el substrat. Recents investigacions a Basilea i Londres demostren que això es veritat per a les cobertes amb substrats molt prims, tot i que actualment s'estan desenvolupant tècniques i dissenys de cobertes vegetades que afavoreixen el desenvolupament d'hàbitats en àrees urbanes. Un principi bàsic és que quanta més aigua pugui retenir el substrat, més biomassa és desenvoluparà i més probabilitat de crear hàbitats [45].

La majoria de plans d'urbanisme reflecteixen la seva proposta en un pla en superfície. La ubicació de l'edificació, la trama viària, els equipaments, etc., es troben de forma "coherent" representats en un

plànol a cota zero. No existeixen plànols urbanístics amb la mateixa coherència en altura ni plànols del subsòl (urbanisme dels tres nivells).

Planificar en alçada suposaria incorporar noves variables que avui el sòl no és capaç d'admetre. Amb l'urbanisme d'alçada apareix una nova capa de biodiversitat que pot unir-se amb l'existent en superfície a través de arbres de gran port o també amb enfiladisses. Amb això apareixen nous escenaris lligats a l'avifauna que pot proliferar. Les cobertes verdes constitueixen, alhora, una solució interessant des del punt de vista energètic (Figura 27) [36].

2.2.2.7. Benefici per a la salut mental

La vegetació influeix en les propietats físiques dels sons i en la forma en que les persones perceben, avaluen i responen al sons en diferents entorns urbans. La vegetació afecta de manera significativa en les expectatives de la gent sobre la qualitat acústica del medi ambient, que en funció de la configuració de la vegetació s'espera menors nivells de soroll en els espais naturals que en els barris de la ciutat. La vegetació fa que existeixin diferències considerables en la forma d'avaluar l'entorn urbà, tot millorant la qualitat visual i acústica percebuda (Figura 28)[46].

Les persones donen un alt valor a les zones verdes. Els espais urbans més desitjables són les zones residencials amb carrers arbrats i amb abundant espai obert. De la mateixa forma poden evolucionar les àrees comercials si s'incorporen espais verds en els seus límits. L'ecolització d'edificis representa una bona inversió, ja que un ambient agradable pot atraure i retenir a les persones [31].

La presència de vegetació a les ciutats, habitatges i oficines té efectes psicològics positius en els éssers humans. Estudis en tot el món van mostrar que les comunitats amb major quantitat d'espai verd hi havia un major sentit de comunitat, la reducció de risc per delinqüència urbana, la disminució dels nivells de violència i una millor capacitat per fer front a les demandes de la vida. També es va evidenciar que la superfície d'espai verd està positivament relacionada amb la salut mental i personal, i que no és necessari que la gent estigui immersa en l'espai verd per a la millora de la salut mental, sinó que la visualització de vegetació des del carrer, l'oficina o l'aula ja té efectes positius.

Tot i els estudis duts a terme sobre aquest tema, és evident la dificultat en mesurar quantitativament el benestar de les persones. Els beneficis físico-mentals venen donats per una millor qualitat de l'aire, menors fluctuacions de les temperatures i la humitat a l'edifici, millora dels imputs visuals, auditius i olfactivs, etc. Derivats d'aquests beneficis es poden mesurar canvis físics i de conducta, com la millora de l'atenció, disminució del temps de recuperació de pacients, reducció de la freqüència cardíaca i la pressió arterial, facilitat de maneig de l'estrès, augment del rendiment laboral, etc. [26].

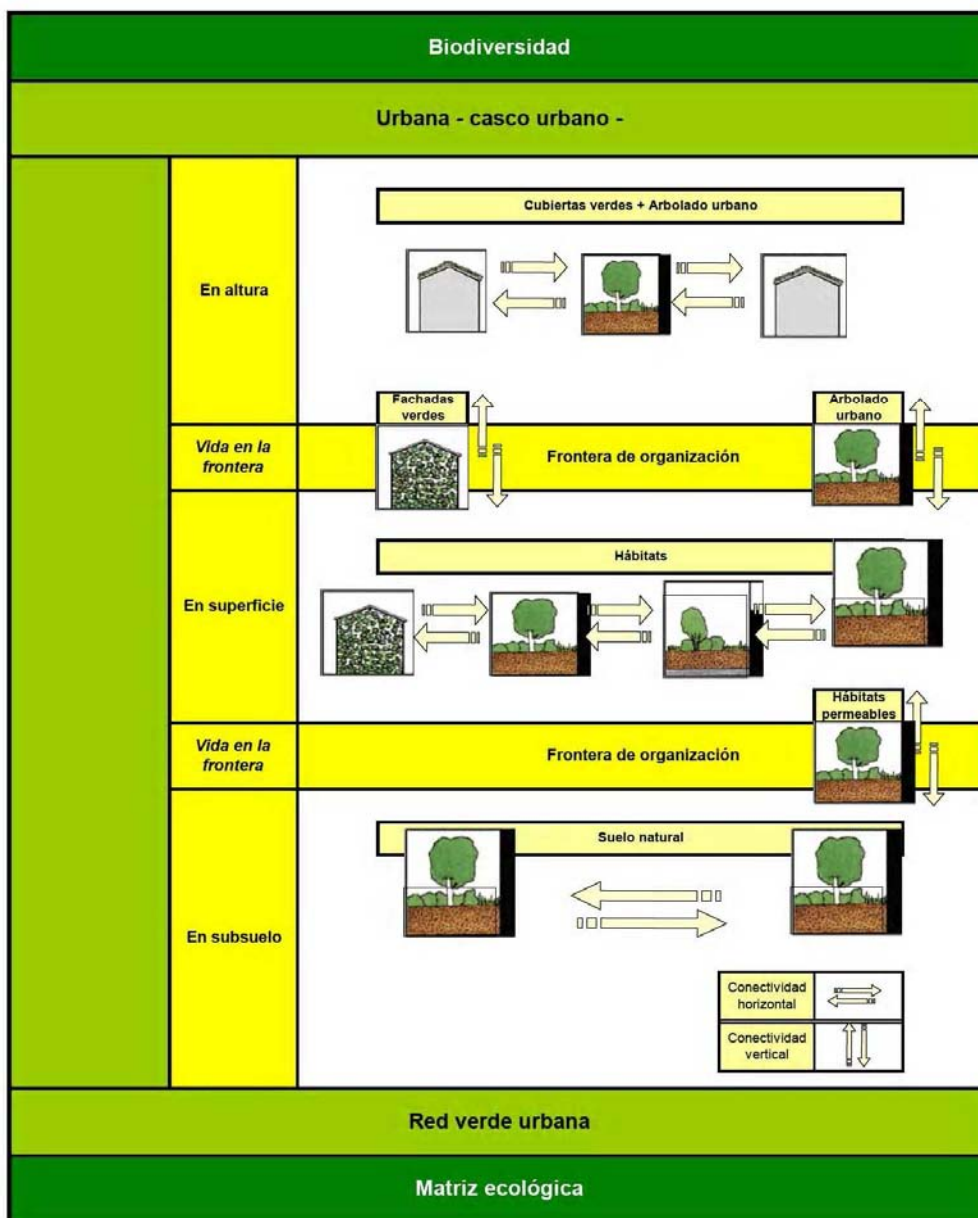


Figura 27. Capa de biodiversitat segons l'urbanisme dels tres nivells [36]



Figura 28. Coberta vegetada intensiva. Hospital. Chicago, Illinois [46]

2.2. Desavantatges de la vegetació d'edificis

2.2.1. Inversió inicial i Manteniment

S'ha calculat que les cobertes vegetades extensives poden ser entre un 10 i un 14% més cares que una coberta tradicional [47], tot i que consultats diferents fabricants, es pot generalitzar que les despeses inicials poden ser un 20% superiors per a una coberta vegetada extensiva, respecte d'una coberta plana de grava convencional [48],[49].

Estudis duts a terme sobre l'anàlisi del cicle de vida (ACV) de les cobertes verdes comparades amb les tradicionals conclouen, per al cas estudiat, que a pesar de les despeses inicials, les cobertes vegetades són l'opció més recomanable des del punt de vista del medi ambient quan es construeix un edifici, fonamentalment degut a lleugera reducció de demanda energètica que suposen i a l'increment de la vida útil de la membrana impermeabilitzant [50].

En els inicis de les cobertes vegetades extensives es tenia la visió de que no seria necessari manteniment, però això no és cert. Fins i tot en aquesta mena de cobertes calen uns mínims de manteniment com controls anuals, reposar plantes mortes, desherbar una o dos vegades a l'any, etc. Al cas d'una coberta enjardinada (coberta vegetada intensiva), les necessitats de manteniment són les mateixes que en un jardí convencional.

Igualment, en façanes vegetades caldran tasques de manteniment, amb l'objectiu de dirigir les enfiladisses per tal de cobrir tota la superfície de façana, dur a terme tractaments insecticides, etc. [13].

Al projecte "Paul-Linke-Ufer" a Berlin, iniciat l'any 1984, en el qual es van establir diferents façanes vegetades tradicionals amb parra verge (*Parthenocissus tricuspidata*), es va evidenciar que les plantes que més i millor es van desenvolupar van ser aquelles plantades directament en el terra, en contrast amb les que es van plantar en testos a diferent altures, les quals van mostrar un desenvolupament més limitat [1].

Cal tenir present que establir una façana vegetada és relativament fàcil, les despeses d'instal·lació baixes i passats uns deu anys els beneficis ecològics són significatius [1].

2.2.2. Danys que la vegetació pugui produir en l'edifici

Existeix la creença generalitzada que les plantes són agressives amb les construccions, tot arrencant el morter de les juntes amb les seves arrels. És possible que aquests problemes s'hagin exagerat molt, llevat dels llocs on la decadència ja s'ha establert i, a continuació, en efecte les plantes poden accelerar el procés de deteriorament. Certament, hi ha poques proves de que les plantes danyin les parets, i en molts casos el cert és tot el contrari, és a dir, que una coberta vegetal protegeix la paret de les agressions climatològiques. De fet, quantes muralles antigues segueixen en peu, tot i el

creixement de les plantes a sobre seu. Això confirma l'opinió que qualsevol dany causat a parets per les plantes és petit i molt lent. A més, una capa de vegetació que protegeix un edifici de la radiació tèrmica pot reduir les tensions dins de l'estructura [31].

En cobertes vegetades ben executades el risc de danys és quasi bé nul. En façanes tradicionals, en les que les enfiladisses s'enfilen mitjançant els seus òrgans de subjecció (arrels adventícies, circells ventosa, etc), solen quedar restes d'aquests òrgans adherits fortament al material de façana que l'embruten i en esporgar, cal rascar, ocasionant danys superficials (Figura 29 [56]).



Figura 29. Heura al Rectorat de la Universitat de Lleida. Danys associats [56]

2.2.3. Sistemes constructius i tecnologia desenvolupats parcialment

Pel que fa a les cobertes vegetades, la majoria de sistemes actuals es fonamenten en la solució tradicional mitjançant làmines de PVC, asfàltiques, etc. (Figura 30 [60]).

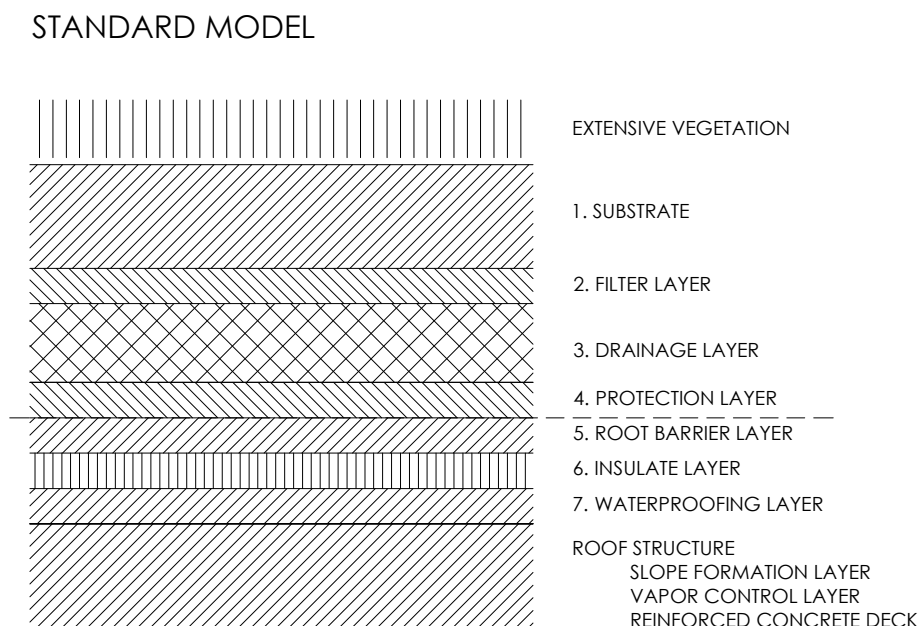


Figura 30. Secció del model estàndard d'una coberta vegetada extensiva [60]

Poc a poc es van desenvolupant sistemes comercials que milloren la seva execució i manteniment. D'altres varien lleugerament les capes estàndard per tal d'adaptar-se a les condicions locals, per exemple incorporant cambres d'acumulació d'aigua amb l'objectiu de subministrar-la a les plantes de forma contínua.

Pel que fa a les façanes, els estudis i dades són escassos, hi ha poca diversificació, de sistemes, de plantes, etc.

Actualment existeix l'amenaça de l'entrada al mercat d'empreses que desconeixen el disseny d'aquest sistemes constructius, així com la seva instal·lació, i que poden donar lloc a una mala imatge d'aquests en executar-los incorrectament [51].

Una de les gran debilitats d'aquests sistemes és el desconeixement dels sistemes per part dels agents implicats, projectistes, promotors i usuaris. Aquest desconeixement abasta tant al sistema en si, és a dir, la seva composició, la seva construcció, com al seu funcionament i prestacions, els avantatges i desavantatges respecte de les solucions tradicionals.

Darrerament s'estan desenvolupant sistemes modulars que permeten una simple i ràpida instal·lació, un efecte de vegetació instantani ja que els plafons són precultivats, una major variació en les composicions, i el manteniment posterior molt més flexible [52] (Figura 31 [61], i Figura 32 [62]).



Figura 31. Sistemes de coberta vegetada modulars [61]

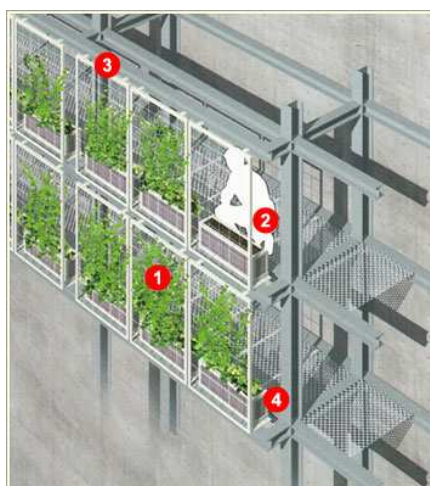


Figura 32. Sistemes de façana vegetada modulars [62]

2.3. Conclusions del Capítol 2

- S'observa que s'està fent més incidència en els aspectes positius de la vegetació d'edificis que no pas dels negatius, tot i que aquests darrers poden esdevenir els més condicionants alhora de prendre una decisió de projecte.
- Les dades disponibles responen a casos molt dispersos, tant pel que fa als sistemes constructius i espècies vegetals emprats, com per la ubicació geogràfica, amb diferent clima, fet que dificulta la seva comparació i interpretació.
- En general, la utilització de vegetació, de forma ben dissenyada i gestionada, pot ser una eina útil de regulació tèrmica passiva d'edificis amb el consegüent estalvi energètic. Aquesta pot tenir lloc de quatre formes, sovint relacionades, l'aïllament tèrmic, la interacció amb la radiació solar, és a dir l'ombra, el refredament evaporatiu, i la variació de l'efecte del vent sobre l'edificació. Els paràmetres que regulen aquests mecanismes es resumeixen a la Taula 2.

	Aïllament tèrmic	Interacció amb la radiació solar. Ombra	Refredament evaporatiu	Variació de l'efecte del vent sobre l'edificació
Cobertes	LAI: Índex d'àrea foliar. Angle del fullatge. Substrat: Gruix, densitat aparent, contingut d'humitat i color. Tipus d'aïllament de l'edifici.	LAI: Índex d'àrea foliar.	Tipus de planta Exposició. Clima (sec/humit). Velocitat del vent. Humitat del substrat.	Densitat i penetrabilitat del fullatge. Direcció i velocitat del vent.
Façanes	Densitat del fullatge. Efecte barrera del vent. Modificació de l'aire de l'espai intermedi. <i>Substrat: Gruix, densitat aparent, contingut d'humitat i color.*</i>	Densitat del fullatge. Número de capes	Tipus de planta Exposició. Clima (sec/humit). Velocitat del vent. <i>Humitat del substrat.*</i>	Densitat i penetrabilitat del fullatge. Orientació de la façana. Direcció i velocitat del vent.

* Solament en algunes de les tipologies de façana, com per exemple els murs vegetals

Taula 2. Paràmetres que condicionen el funcionament de la vegetació d'edificis com a sistema passiu d'estalvi d'energia

- Hi ha poques dades referents a la capacitat d'aïllament acústic de la vegetació d'edificis.
- Les cobertes vegetades protegeixen i allarguen la vida de les membranes impermeabilitzants.
- Les cobertes vegetades han recuperat el debat al voltant de l'habitabilitat i l'ús de les cobertes.
- Les cobertes i façanes vegetades poden esdevenir un bon mitjà de desenvolupament de la permacultura en àrees urbanes.
- La vegetació es perfila com un element més de disseny i composició arquitectònica que cal tenir en compte en l'arquitectura i l'urbanisme actuals, atesa la millora visual i efecte psicològic que produeix.
- La vegetació millora la qualitat de l'aire per mitjà del filtrat de partícules i per l'absorció de gasos. Els factors que influeixen són diversos, el tipus de planta, la superfície foliar i rugositat de les fulles (pels), la seva ubicació, les condicions meteorològiques, del tipus i la concentració dels contaminants, i del pH del medi de cultiu.
- Les cobertes vegetades retenen l'aigua de pluja, reduint la quantitat d'aigua d'escorrentia i retardant el pic d'escorrentia. Aquest fet permet disminuir els problemes als sistemes de sanejament i clavegueram en època de pluges a les àrees urbanes, en climes d'elevada pluviometria. Els factors que influeixen més són la capacitat de retenció d'aigua del substrat, el seu gruix, i el seu contingut d'humitat.
D'altra banda, en climes de baixa pluviometria, les cobertes vegetades es perfilen com un interessant sistema de recuperació d'aigua en alçada.
- La utilització de vegetació és un mitjà de reducció de l'efecte d'illa de calor urbà.
- L'increment de la biomassa suposa una eina de segrest de carboni atmosfèric, i alhora augmenta la qualitat dels espais vitals per a la biodiversitat urbana.
- La vegetació de cobertes i façanes contribueix lleugerament a la reducció del soroll urbà, i a la millora de la qualitat visual i acústica percebuda.
- L'estratègia de vegetar un edifici incrementa les despeses inicials, i requereix uns costos mínims de manteniment.
- La vegetació d'edificis no té perquè produir danys significatius a les construccions.

- Existeix desconeixement i desconfiança, de forma general, cap aquesta mena de sistemes.

2.4. Bibliografia i referències

- [1] KÖHLER, M. (2008): Green facades – a view back and some visions. *Urban Ecosyst* 11:423-436.
- [2] RUEDA, S. et al. (2006): LIBRO VERDE DE MEDIO AMBIENTE URBANO. Ed. Ministerio de Medio Ambiente 2006.
- [3] PALOMO DEL BARRIO, E. (1998): Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. *Energy and Buildings*, Volume 27, Issue 2, April 1998, Pages 179 – 193.
- [4] MACHADI, M.; BRITO, C.; NEILA, J. (2000): La cubierta ecológica como material de construcción. *Informes de construcción*, Vol. 52 nº 467, mayo/junio 2000.
- [5] NIACHOU, A.; PAPAKONSTANTINOY, K.; SANTAMOURIS, M.; TSANGRASSOYLIS, A.; MIHALAKAKOU, G. (2001): Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, Volume 33, Issue 7, September 2001, Pages 719 – 729.
- [6] SANTAMOURIS, M.; PAVLOU, C.; DOUKAS, P.; MIHALAKAKOU, G.; SYNNEFA, A.; HATZIBIROS, A.; PATARGIAS, P. (2005): Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. *Energy*, Volume 32, Issue 9, September 2007, Pages 1781 – 1788.
- [7] SPALA, A.; BAGIORGAS, HS.; ASSIMAKOPOULOS, MN.; KALAVROUZIOYIS, J.; MATTHOPOULOS, D.; MIHALAKAKOU, G. (2007): On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential investigation of a system installed in a office building in Athens, Greece. *Renewable Energy*, In Press, Corrected Proof, Available online 11 May 2007.
- [8] WONG, NH.; TAN, PY.; CHEN, Y. (2007): Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate. *Building and Environment*, Volume 42, Issue 1, January 2007, Pages 25 – 54.
- [9] NEILA, FJ.; BEDOYA, c.; ACHA, C.; OLIVIERI, F.; BARBERO, M. (2008): Las cubiertas ecológicas de tercera generación: un nuevo material constructivo. *Informes de Construcción* Vol. 60, 511, 15-24. Julio-setiembre 2008.
- [10] SAILOR, D (2008): Energy and urban climate benefits of green roofs. *World Green Roof Congress London*, 16 – 17 September 2008.
- [11] HOYANO, A. (1988): Climatological uses of plants for solar control and the effects on the thermal environment of a building. *Energy and buildings*, 11, 181-199.
- [12] PAPADAKIS, G.; TSAMIS, P.; KYRITSIS, S. (2001): An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. *Energy and Buildings* 33, 831-836.
- [13] KÖHLER, M. (2007): Rain water management with green roofs and living walls.
- [14] BASS, B. (2007): Green roofs and Green Walls: Potential Energy Savings in the Winter. Report on Phase 1. March 31 2007.
- [15] NEILA, FJ. (2004): *Arquitectura bioclimatica en un entorno sostenible*. Editorial Munilla-Lería.

- [16] OCHOA, JM. (1999): La vegetación como instrumento para el control bioclimático. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. Director: Dr. Rafael Serra Florensa.
- [17] WONG, NH.; CHEN, Y; ONG, CL.; SIA, A. (2003): Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment*, Volume 38, Issue 2, February 2003, Pages 261 – 270.
- [18] THEODOSIOU, T. (2003): Summer period analysis of the performance of a planted roof as a pasive cooling technique. *Energy and Buildings*, Volume 35, Issue 9, October 2003, Pages 909 – 917.
- [19] CEJUDO, JM.; GUERRA, J. (2002): Diseño climático de espacios abiertos.
- [20] KUMAR, R.; KAUSHIK, S.C. (2004): Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings. *Building and Environment*, Volume 40, Issue 11, November 2005, Pages 1505 – 1511.
- [21] STEC, W.J.; VAN PAASSEN, A.H.C.; MAZIARZ, A. (2004): Modelling the double skin façade with plants. *Energy and Buildings*, 37 (2005) 419-427.
- [22] MILLER, A.; IP, K.; SHAW,K.; LAM, M (2007): Vegetation on building facades:"Bioshader". Case Study Report.
- [23] REICHMANN, B. (2006). Flier: Institute of Physics in Berlin – Adlershof. Berlin Senate for Urban Development.
- [24] SCHMIDT, M. (2006): Energy and water, a decentralized approach to an integrated sustainable urban development. RIO6 World Climate and Energy Event.
- [25] LAZZARIN, RM.; CASTELLOTTI, F.; BUSATO, F. (2005): Experimental measurements and numerical modelling of a green roof. *Energy and Buildings*, Volume 37, Issue 12, December 2005, Pages 1260 – 1267.
- [26] DINSDALE, S.; PEAREN, B.; WILSON, C. (2006): Feasibility Study for Green Roof Application on Queen's University Campus. Queen's Physical Plant Services (2006).
- [27] MARSHALL, S., CONNELLY, M. (2005): BCIT Green Roof Research Program, Phase 1. Summary of Data Analysis. Centre for the Advancement of Green Roof Technology.
- [28] GRANT, G.; ENGLEBACK, L.; NICHOLSON, B. (2003): Green Roofs: their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas. EcoSchemes Ltd in association with StudioEngleback. Environmental Impacts Team. English Nature Research Reports Number 498 2003.
- [29] MARTÍNEZ, A. (2005): *Habitar la cubierta*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2005.
- [30] ROMERO, JORDI (2002): *el rebost de la ciutat manual de permacultura urbana*. Edició Fundació Terra.
- [31] JOHNSTON, J.; NEWTON, J. (2004): *Building Green A guide to using plants on roofs, walls and pavements*. Major of London 2004.
- [32] RICO, MI.; CARTAGENA, MC.; ARCE, A. (1999): Capítulo 8. Las cubiertas ecológicas y la contaminación ambiental. BRIZ, J. (1999): Saturación urbana: Cubiertas ecológicas y mejora medioambiental.

- [33] THÖNNESEN, M. (2002): Elementdynamik in Fassaden begrünendem wilden Wein, Kölner Geographischer Arbeiten, Heft 78, Köln.
- [34] VAN BOHEMEN, H.D. (2008): Ecological engineering, green roofs and the greening of vertical walls of buildings in urban areas. Ecocity World Summit 2008.
- [35] VILLAREAL, EL.; BENGTSOON, L. (2005): Response of a Sedum green-roof to individual rain events. Ecological Engineering, Volume 25, Issue 1, 20 July 2005, Pages 1-7.
- [36] RUEDA, S. (2002). La eficiencia energética en la planificación urbana.
- [37] OKE, T. R. (1987): Boundary Layer Climates. Wiley and Sons, 372 pp.
- [38] ALEXANDRI, E.; JONES, P. (2007): Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. Building and Environment, In Press, Corrected Proof, Available online 4 September 2007.
- [39] MAURI, M., HOYANO, A. (2007): Proposal of a sustainable city block model in Metro Manila and simulation analysis of its heat-island effect mitigation. Tokyo Institute of Technology, 2007.
- [40] GETTER, K.; ROWE, B. (2008): Carbon Sequestration Potential of Extensive Green Roofs. World Green Roof Congress London, 16 – 17 September 2008.
- [41] COOK, D.; VAN HAVERBEKE, DF. (1972): Suburban Noise Control with Plant Materials and Solid Barriers. University of Nebraska, Lincoln; and silviculturist, USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colo.
- [42] ISALGUÉ, A.; COCH, H.; SERRA, F. (1998): Effects of urban landscape on noise distribution. Proceedings of the 2nd European Conference: REBUILD, The European Cities of Tomorrow, Florencia, Abril 1998.
- [43] SUKOPP, H.; WERNER, P. (1989): Naturaleza en las ciudades. MOPU, 1989.
- [44] SCHRADER, S.; BÖNING, M. (2006): Soil formation on green roofs and its contribution to urban biodiversity with emphasis on Collembolans. Pedobiologia, Volume 50, Issue 4, September 2006, Pages 347-356.
- [45] BRENNEISEN, S (2008): Benefits for biodiversity. World Green Roof Congress London, 16 – 17 September 2008.
- [46] ANDERSON, L.M.; MULLIGAN, B.E.; GOODMAN, L.S. (1984): Effects of vegetation on human response to sound. Journal of Arboriculture 10(2): February 1984.
- [47] CARTER, T.; KEELER, A. (2007): Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. Journal of Environmental Management, In Press, Corrected Proof, Available online 21 March 2007.
- [48] <http://www.intemper.com/>
- [49] <http://www.jardinatura.net/>
- [50] KOSAREO L, RIES R. (2007): Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. Building and Environment, Volume 42, Issue 7, July 2007, Pages 2606 – 2613.
- [51] BRIZ, J. (1999): Naturación urbana: Cubiertas ecológicas y mejora medioambiental.
- [52] HUI, S.; CHAN, HM. (2008): Development of modular green roofs for high-density urban cities. World Green Roof Congress London, 16 – 17 September 2008.
- [53] <http://www.clarkeassociates.cc/index.php?PageName=gr01.php>

[54] <http://www.abalos-herreros.com/>

[55] Oficines Allen & Overy LLP. Londres. Fotografia d'elaboració pròpia setembre 2008

[56] Fotografies d'elaboració pròpia. 2008/2009

[57] <http://www.raderschall.ch/archiv/projekte.php>

[58] <http://www.seattle.gov/dpd/Permits/GreenFactor/Overview/>

[59] <http://www.sharpdiamond.com/>

[60] Esquema d'elaboració pròpia. 2008/2009

[61] <http://www.liveroof.com>

[62] www.greenrooftops.com

Capítol 3. El sistemes de vegetació vertical d'edificis

Des d'antic hi ha referents de la integració entre vegetació i construcció, podent-ne diferenciar dues formes d'entendre-la:

- Aquella en la que la vegetació és un element diferenciador del projecte respecte d'altres projectes (Figures 33 a 39).
 - De manifestació de poder econòmic, vinculat a les despeses d'implantació i manteniment de la mateixa. Aquesta estaria relacionada amb el promotor i l'usuari del projecte.
 - Com a manifestació estètica, artística, per part del projectista.
- Arquitectura vegetada, on la vegetació és un element més del projecte arquitectònic, amb funcions concretes a desenvolupar en l'edifici (aspectes energètics, acústics, de protecció dels materials, etc.), i en la seva relació amb l'entorn (Figures 40 a 46).

Si bé aquestes concepcions de l'enjardinament de les construccions coexisteixen, en els darrers anys s'ha produït una evolució de la primera cap a la segona, propiciada bàsicament pels canvis en els valors de la societat envers el medi ambient.

Dels diferents sistemes d'incorporació de vegetació en les edificacions, en aquest capítol s'aprofundeix en l'estat actual dels sistemes de vegetació vertical, des de diferents perspectives. Des de l'àmbit de les empreses que desenvolupen els sistemes constructius, des de l'àmbit de la recerca, dels grups i empreses que desenvolupen els sistemes per a millorar les seves prestacions, i finalment des de l'àmbit normatiu, és a dir quina és la normativa actual que els regula.

3.1. Antecedents

En el següent recull d'exemples es pot observar com el concepte d'arquitectura vegetada ha anat evolucionant des d'aquesta concepció més estètica, sovint associada a elevades despeses de manteniment, demostrativa per tant d'un cert poder econòmic vinculat a la propietat del edifici, com els casos de les cobertes del Rockefeller Center de New York (Figura 33 [30]), o les façanes enjardinades de l'edifici Banca Catalana – Planeta de Barcelona (Figura 35 [32]), cap a una vessant més funcional, en la que la vegetació aporta quelcom més que la millora de l'estètica de l'edifici.

Així, es troben exemples com les cases del Paul-Lincke-Ufer a Berlin, on les tradicionals façanes s'han complementat amb cobertes enjardinades que ajuden a controlar l'aigua disminuint així els problemes d'excés d'aigua en els sistemes de sanejament i de clavegueram (Figura 39 [35]), o bé la utilització de vegetació com a element d'integració paisatgística en l'entorn i de pantalla visual com en el Pavelló de Gimnàstica del Retiro, a Madrid, obra del despatx Iñaki Ábalos y Juan Herreros (Figura 41 [36]).

D'altres exemples són el Almeida Theatre a Londres, d'en Haworth Tompkins (Figura 41 [37]), que es va recobrir amb catifes de gramínies per tal de millorar l'acústica de l'edifici.

També destaquen, l'edifici Ricola Marqueting, a Suïssa, obra de Jacques Herzog – Pierre de Meuron (Figura 42 [38]), així com l'Edifici Pèrgola de l'arquitecte Bruno Stagno (Figura 43 [38]), en els quals s'incorporen estructures per vegetar les façanes amb l'objectiu de proveir d'ombra l'edifici.

Darrerament, es comença a considerar l'edifici com una sola entitat a l'hora de plantejar una estratègia de vegetació.

En referència a aquest darrer concepte, són interessants els exemples dels gratacels d'en Ken Yeang (Figures 44 i 45 [40]), els quals porten associats al darrera tota una concepció d'arquitectura bioclimàtica en la que la vegetació juga un paper principal, o bé l'edifici Institute of Physics Humbolt University de Berlin (Figura 46 [41]), dels arquitectes Georg Augustin i Ute Frank, en el que es planteja una estratègia global de recollida i reutilització de l'aigua de pluja que s'intercepta en les cobertes vegetades i s'utilitzen les façanes vegetades com a mitjà de control dels intercanvis d'energia entre l'exterior i l'interior de l'edifici.

Aquest recull històric d'exemples d'arquitectura vegetada permet adonar-se'n de l'heterogeneïtat en les solucions constructives que els diferents autors utilitzen en les seves obres. Solucions, que la majoria de vegades estan pensades única i exclusivament per a una obra determinada.

Pel que fa a la **vegetació de cobertes**, hi ha països, per exemple a Alemanya, Suïssa, França o Anglaterra, en els que aquests sistemes constructius estan perfectament assimilats pels projectistes, i el mercat ofereix bastants solucions constructives per a la seva execució.

Amb la globalització dels mercats, aquestes solucions s'estan generalitzant i estenent a la resta de països.

No passa el mateix amb la **vegetació de façanes**. Hi ha poques empreses dedicades a la fabricació d'elements per a la vegetació de façanes, i els que hi ha són recents i en procés d'implantació en el mercat.

Pel que fa a la **recerca**, fonamentalment s'està fent incidència en la quantificació i qualificació dels aspectes positius (i no tant dels negatius) de la utilització de l'arquitectura vegetada.

En referència a les **cobertes**, destaquen els aspectes relacionats amb el control de l'aigua d'escorrentia, i la capacitat d'aïllant tèrmic.

En quant a les **façanes**, es concentra l'atenció en la seva capacitat de subministrar ombra, així com en l'efecte refrigerador associat al procés d'evapotranspiració de les plantes, amb els conseqüents avantatges en quant a l'estalvi d'energia per a refrigerar l'interior dels edificis.

Com ja s'ha apuntat en la introducció, resta molta feina a fer en el camp de les cobertes vegetades, però té sentit començar a treballar i establir les bases de disseny de les façanes vegetades per tal de poder, en fases posteriors, evolucionar cap a la concepció de l'edifici com a suport global de vegetació.

A continuació, en aquest capítol, es mostren els resultats d'un estudi dut a terme sobre **sistemes de vegetació vertical**, en dos àmbits generals. D'una banda en **l'àmbit de les empreses** que estan desenvolupant sistemes que permeten vegetar les façanes dels edificis, i de l'altra, en **l'àmbit de la**

recerca, quins són els grups de recerca i/o despatxos professionals que estan desenvolupant sistemes de vegetació de façana o bé estan investigant els diferents aspectes d'interès relacionats aquest sistema constructiu.



Figura 33. Coberta del Rockefeller Center New York [30]



Figura 34. GENO Haus: Stuttgart, Alemanya. 1969 [31]

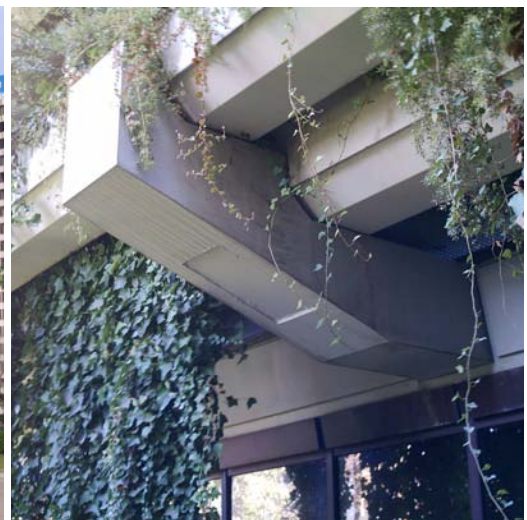


Figura 35. Edifici Banca Catalana – Planeta. Barcelona. Josep Maria Fargas y Enric Tous. 1979 [32]



Figura 36. Embelliment xemeneia ventilació. París, 2004 [33]



Figura 37. "Tower Flower". París. E. François, P. Blanc. 1999-2004 [33]



Figura 38. Villa Bio. Figueres, Girona, Espanya. Enric Ruiz-Geli. Cloud 9. 2005 [34]



Figura 39. Paul-Lincke-Ufer, Berlin. Foto, Manfred Koehler [35]



Figura 40. Pavelló de Gimnàstica. El Retiro Madrid. Iñaki Ábalos y Juan Herreros. 2003 [36]



Figura 41. Almeida Theatre. Londres. Haworth Tompkins. 2001 [37]



Figura 42. Ricola Marqueting. Laufen, Basel, Suïssa. Jacques Herzog – Piere de Meuron. 1998 [38]



Figura 43. Edifici Pèrgola. BRUNO STAGNO. 2003-2004 [38]



Figura 44. Edift Tower. Ken Yeang. 1998 [40]



Figura 45. Elephant and castle ecotower . Ken Yeang. 2001 [40]



Figura 46. Institute of Physics Humbolt University Berlin. Georg Augustin, Ute Frank. 2003 [41]

3.2. Els sistemes de vegetació vertical.

3.2.1. Greenscreen system

- Empresa:** Green Screen
1743 S. La Cienega Blvd.
Los Angeles, CA 90035
T – 800.450.3494
F – 310.837.0523
- Web:** www.greenscreen.com / www.prouriba.com [1]
- Sector:** Urban planning, landscape design
- Nom del sistema:** **Greenscreen system** (Figures 47 a 53 [1]).
- Descripció:** Sistema d'enreixat tridimensional de filferro soldat, d'acer galvanitzat, tot configurant diferents mòduls tipus plafons rectangulars plans i ondulats, per ancorar directament sobre la paret de façana o auto portants, enreixats columnars, o bé configurant formes diverses, dissenyades a mida.
- L'estructura tridimensional de l'enreixat reforça l'estructura del sistema i permet estabilitzar el desenvolupament interior de les plantes enfiladisses.
- Les plantes poden anar plantades directament al terra, a la base de l'enreixat, o bé en jardineres rectangulars i cilíndriques, preparades per instal·lar el sistema de reg corresponent.



Figura 47. Stanford Mall. Palo Alto, CA [1]



Figura 48. The Marketplace at Oviedo Crossing
Fotos: www.greenscreen.com [1]



Figura 49. Studio 5C, Tempe [1]



Figura 50. International Center, Phase 3, Dallas [1]



Figura 51. Fishers Place at Metro Center. Rockville, MD [1]



Figura 52. Fashion Square Mall, Sherman Oaks, CA
Fotos: www.greenscreen.com [1]



Figura 53. Harbor Day School, Corona Del Mar, CA

Fotos: www.greenscreen.com [1]

3.2.2. Green Wall Container

Empresa: G-SKY
669 Ridley Place, Unit 208
Delta, BC (Annacis Island)
V3M 6Y9

Web: www.greenrooftops.com [2]

Sector: Cobertes i façanes vegetades

Nom del sistema: **Green Wall Container** (Figura 54 [2]).

Descripció: Mòdul constituït per un enreixat de petites dimensions integrat a una jardinerera rectangular, construït amb perfils i xapa d'acer inoxidable.

Els mòduls s'ancoren a una estructura de perfils d'acer que suporta tant els mòduls com la reixa del terra del passadís interior que permet l'accés a les jardineres, per al seu manteniment.

L'estructura es fixa directament a la paret de la façana.

El sistema està preparat per al reg de les jardineres per mitjà de goters integrats.

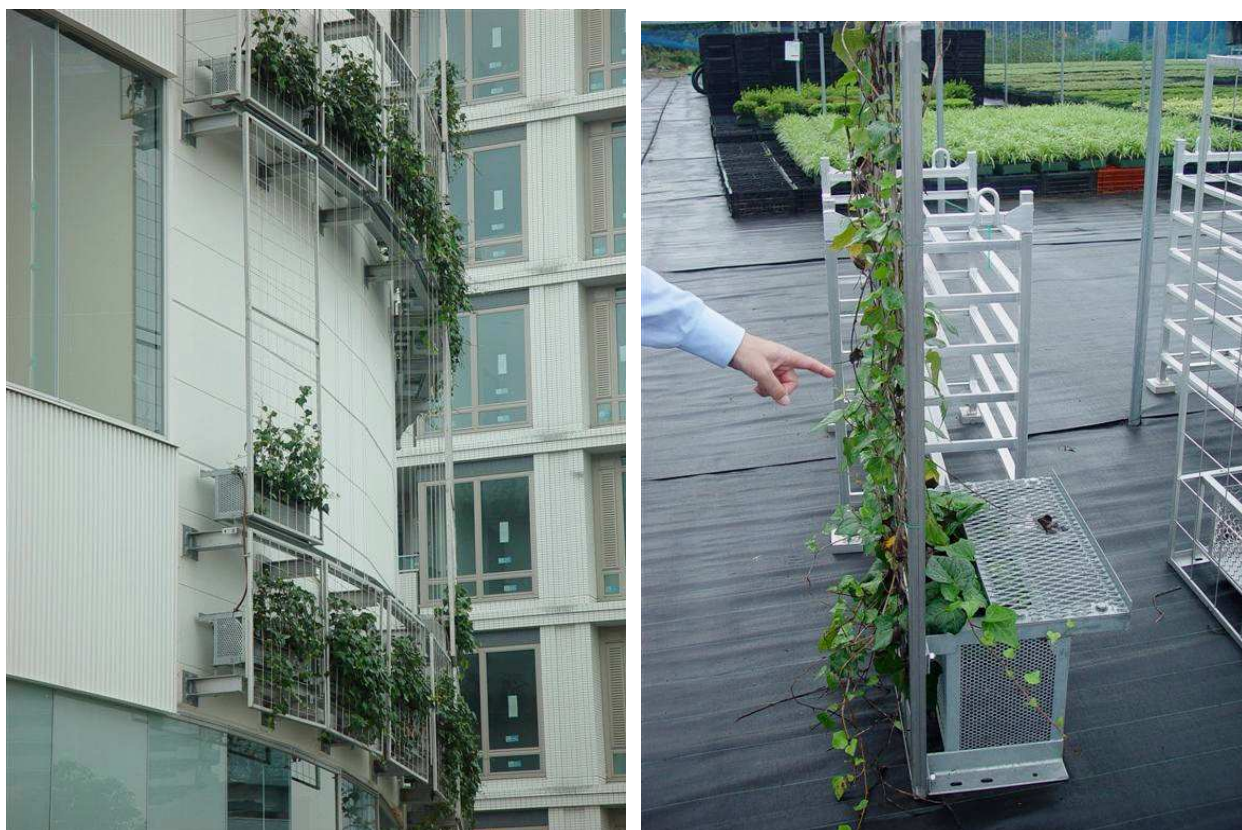


Figura 54. Green Wall Container

Fotos, www.G-SKY.com [2]

3.2.3. Green Wall Panels

- Empresa:** G-SKY
669 Ridley Place, Unit 208
Delta, BC (Anacis Island)
V3M 6Y9
- Web:** www.greenrooftops.com [2]
- Sector:** Cobertes i façanes vegetades
- Nom del sistema:** **Green Wall Panels** (Figures 55 a 57 [2]).
- Descripció:** Aquesta paret revestida de vegetació consisteix en una estructura lleugera d'acer inoxidable, ancorada a la paret (d'obra o de formigó), a sobre de la qual es penjen els plafons G-SKY, compostos per una carcassa quadrada de 28 x 28 cm i 7,6 cm de gruix, d'acer inoxidable en la que s'encaixa funda de teixit no inflamable amb uns orificis circulars en una de les seves cares, a l'interior de la qual es diposita el substrat i les plantes, de caire arbustiu i limitades dimensions, que creixen horitzontalment a través dels orificis. El sistema de reg, mitjançant canonades amb goters integrats, circula per sobre de cadascun dels plafons un cop estan penjats.

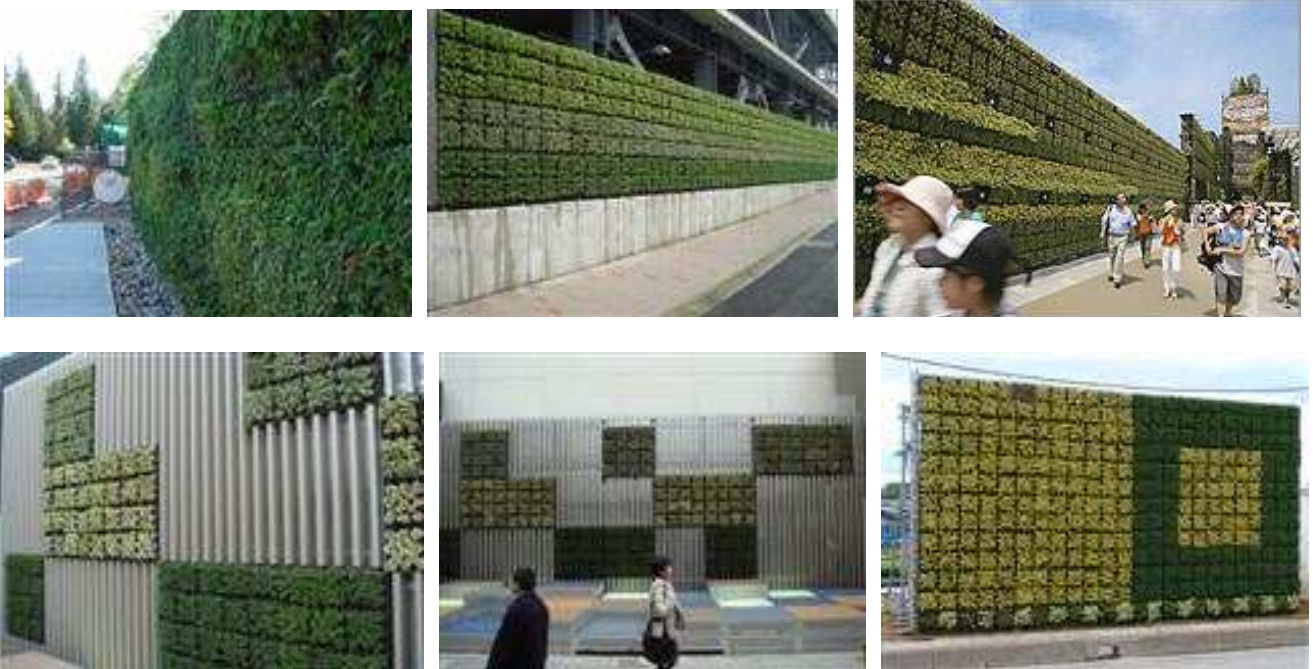


Figura 55. Green Wall Panels. Exemples

Fotos, www.G-SKY.com [2]

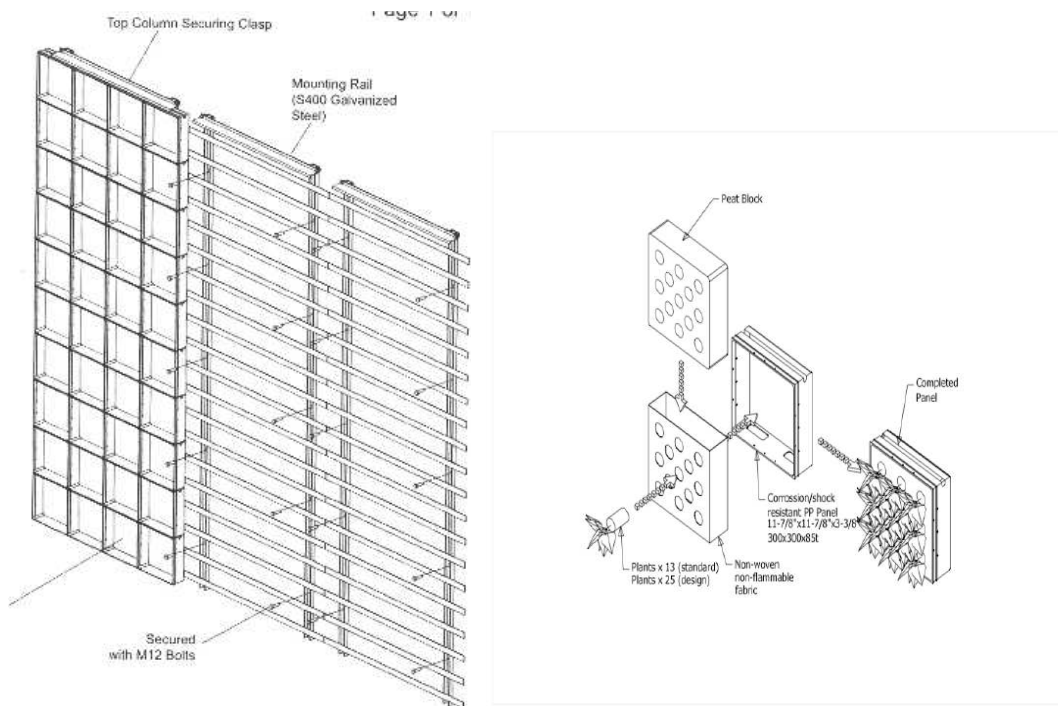


Figura 56. Green Wall Panels. Muntatge.

Fotos, www.G-SKY.com [2]

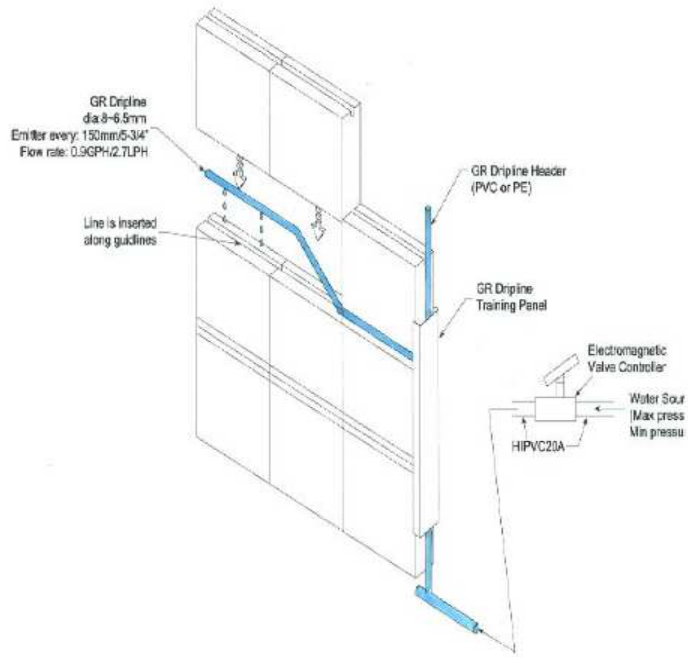


Figura 57. Green Wall Panels. Acabat

Fotos, www.G-SKY.com [2]

3.2.4. FaçadeScape system. I – SYS Stainless Cables and Rods

Empresa: Carl Stahl DecorCable, Inc.

Phone: 312-474-1100

Toll Free: 800-444-6271

Fax: 312-474-1789

660 W Randolph St

Chicago, IL 60661-2114, US

Web: www.decorcable.com [3]

www.tenso.es [4]

Sector: Cables i malles d'acer

Nom del sistema: **FaçadeScape system. I – SYS Stainless Cables and Rods** (Figures 58 a 61 [3]).

Descripció: Sistema de cables i barnilles d'acer inoxidable, amb totes les seves peces accessorïes, per tal de poder vegetar les façanes d'edificis mitjançant plantes enfiladisses.

L'empresa proposa diferents solucions en funció del pes que haurà de suportar l'estructura. També diferencia dues disposicions, l'ortogonal, o bé formant rombes.

Es diferencia els tipus d'ancoratges en funció del material de façana, per tal de garantir l'estabilitat i durabilitat del sistema.



Figura 58. Project Southgate Market FaçadeScape

Fotos, www.decorcable.com [3]



Figura 59. FaçadeScape system. Ancoratges

Fotos, www.decorable.com [3]



Figura 60. Project Chino Business Park. City Chino State CA Country USA

Fotos, www.decorable.com [3]



Figura 61. Project Independence Visitor Center. City Philadelphia State PA

Fotos, www.decorable.com [3]

3.2.5. FaçadeScape system. X – Tend Stainless Steel Flexible Mesh Fabric

Empresa: Carl Stahl DecorCable, Inc.

Phone: 312-474-1100

Toll Free: 800-444-6271

Fax: 312-474-1789

660 W Randolph St

Chicago, IL 60661-2114, US

Web: www.decorcable.com [3]

www.tenso.es [4]

Sector: Cables i malles d'acer

Nom del sistema: *FaçadeScape system. X – Tend Stainless Steel Flexible Mesh Fabric* (Figura 63 [3])

Descripció: Malla flexible d'acer inoxidable, de poc pes, amb diferents tipus de trenat i mides del rombe, per tal d'adaptar-la al tipus de planta emprada. Aquest sistema permet cobrir grans superfícies de forma ràpida i fàcil.



Figura 62. Project Academy for Philosophy/Theology, Sankt Georgen. GERMANY

Fotos, www.decorcable.com [3]

3.2.6. Jakob inox line

- Empresa:** Jakob AG
Drahtseilfabrik, CH-3555 Trubschachen
Switzerland
Tel. +41 34 495 10 10
- Web:** www.spanset.es [5]
www.jakob.ch [6]
- Sector:** Elevació, seguretat, cablejat per a construcció
- Nom del sistema:** **Jakob inox line** (Figures 63 i 64 [6])
- Descripció:** Sistema de cables d'acer inoxidable, amb totes les seves peces accessorïes, tensors, separadors, abraçadores, grapes, etc. per tal de poder vegetar qualsevol superfície de l'edifici, especialment verticals, mitjançant plantes enfiladisses.
- Atès que les plantes enfiladisses utilitzen diverses estratègies per a enfilar-se, aquesta empresa ha dissenyat diferents sistemes, que permeten adaptar-se a la forma de creixement de les espècies.



Figura 63. Jakob inox line.

Fotos: www.jakob.ch [6]



Figura 64. Jakob inox line. Ancoratges i peces

Fotos: www.jakob.ch [6]

3.2.7. ELT Easy Green Living Wall Panel

Empresa: ELEVATED LANDSCAPE TECHNOLOGIES, Inc. (ELT)

258 King George Rd. Suite 319

Brantford, Ontario, Canada N3R 7N7

Tl. 1.866.306.7773

Web: www.elgreenroofs.com [7]

Sector: Cobertes enjardinades

Nom del sistema: **ELT Easy Green Living Wall Panel** (Figures 65 i 66 [7])

Descripció: Aquest sistema de vegetació de paraments verticals per mitjà de safates de polietilè d'alta densitat HDPE, que es poden encaixar un amb els altres i s'ancoren directament a la façana o en estructures lleugeres, regat superiorment mitjançant goteig.

Les safates disposen de compartiments on s'allotgen les plantes, arbustives i el substrat. El disseny de la safata permet situar-les en múltiples inclinacions.



Figura 65. ELT Easy Green Living Wall Panel.

Fotos, www.elgreenroofs.com [7]

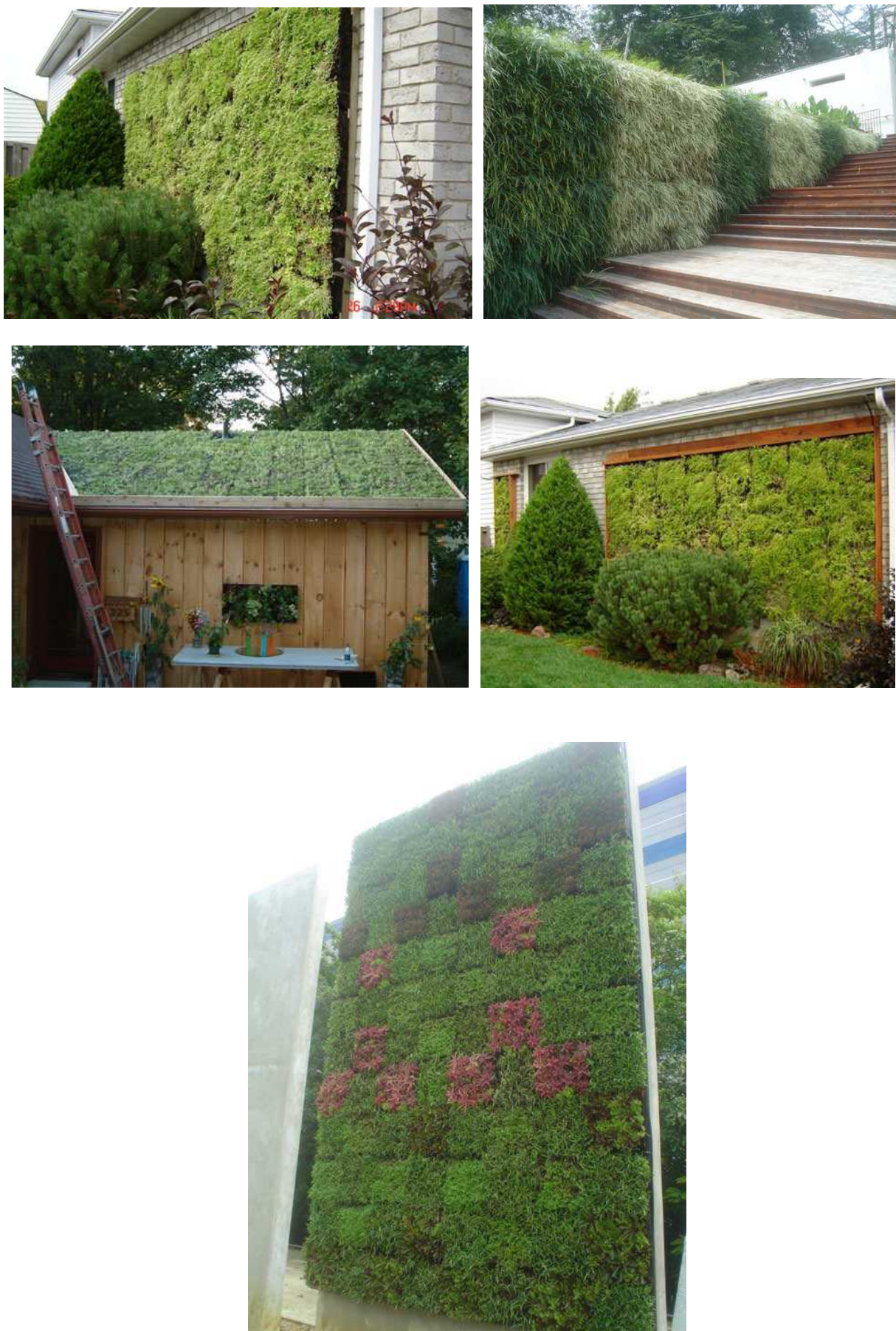


Figura 66. ELT Easy Green Living Wall Panel. Exemples
Fotos, www.eltgreenroofs.com [7]

3.2.8. Parabienta Green Wall

Empresa: Shimizu Corp. - Minoru Industrial Co. – National University of Singapore (Centre for Total Building Performance)

Web: www.nus.edu.sg [8]

Sector: Construcció – agrícola - universitat

Nom del sistema: **Parabienta Green Wall** (Figura 67 [8])

Descripció: Estructura lleugera d'acer inoxidable que suporta uns plafons de 60 x 60 x 5 cm, de substrat esponjós format per una barreja de sòls el qual s'escalfa i es conforma per mitjà de vapor d'aigua.

Aquest material presenta unes excel·lents propietats de retenció i drenatge de l'aigua, i diferents tipus de plantes poden créixer en aquesta base de cultiu prima i lleugera.

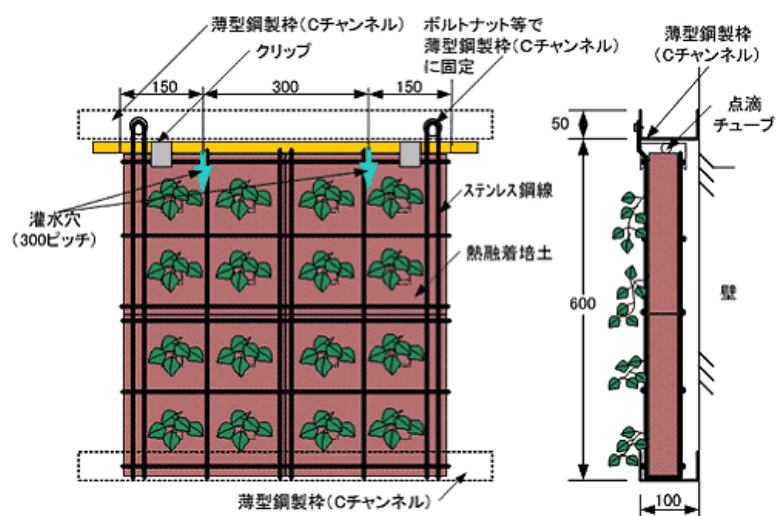


Figura 67. Parabienta Green Wall

Fotos: http://www.treehugger.com/files/2006/10/parabienta_gree.php [8]

3.2.9. Paramento vertical vegetal

Empresa: Intemper Española SA.
C/ Eugenio Salazar, 23
E-28002 Madrid
Tf: 914 164 804

Web: www.intemper.com [9]

Sector: Sistemes d'impermeabilització de cobertes i bases

Nom del sistema: **Paramento vertical vegetal** (Figures 68 a 71 [9])

Descripció: Sistema modular de vegetació de parament vertical format per tot un seguit de plafons de 60 x 60 cm i de 6 mm de gruix, a l'interior dels quals es diposita el substrat especial en el que es cultiven plantes aptes per a ser dipositades en posició vertical.

Els components són:

- Tancament metàl·lic: Pot ser de xapa galvanitzada, lacada o d'alumini amb perforacions circulars. Per la part posterior es pot afegir l'aïllament tèrmic.
- Feltemper: Feltre sintètic de fibres de polièster. Retenidor de substrat per tal d'evitar pèrdues en ser col·locat vertical, a la vegada que facilita la difusió de l'aigua per capil·laritat en la totalitat del substrat.
- Substrat: Posseeix unes propietats físiques i químiques especials imprescindibles per al correcte funcionament del sistema.
- Plantació: Espècies vegetals seleccionades en funció de la orientació del mur i de la zona climàtica. La densitat de plantació és de 100 unitats per plafó, és a dir, unes 300 u/m².
- Reg: És imprescindible la instal·lació d'un sistema de reg automàtic i de fertirrigació, per aportar nutrients a les plantes.

La col·locació dels plafons es duu a terme un cop han arrelat i crescut les plantes, per això són necessaris tres mesos previs de cultiu.



Figura 68. Paramento vertical. Col·locació [42]



Figura 69. Paramento vertical. Muntatge [42]



Figura 70. Paramento vertical. Residència d'avis a Zamora [43]



Figura 71. Paramento vertical. Casa del amor, Carlos Arroyo, 2001-2003 [42]

La Moraleja. Madrid

3.2.10. Green Wall System

Empresa/autors: Marie Clarke (paisatgista) i Alan Conisbee (enginyer d'estructures)

Web: www.clarkeassociates.cc/index.php?PageName=gr04.php [10]

Sector: Arquitectura i paisatgisme

Nom del sistema: **Green Wall System** (Figura 72 [10])

Descripció: El sistema consisteix en una malla metàl·lica, en els forats de la qual s'allotjaran un sacs perforables, els quals contenen el substrat que permet créixer les plantes. El mur inclou un sistema de reg que proveeix les plantes d'aigua i nutrients, mantenint-les fresques i vives.

Número de patent: GB2412558-A

Any: 2005

Títol: Container for supporting plants on walls and roof of building, has enclosure formed from mesh which is formed of size sufficient to permit planting of plants into growing medium in enclosure.



Figura 72. Paradise Park Children's Centre, Islington. Gran Bretanya, 2006 [10]

Fotos, <http://www.mimoa.eu/projects/United%20Kingdom/London/Paradise%20Park%20Children's%20Centre>

Fotos, <http://www.clarkeassociates.cc/index.php?PageName=gr04.php>

3.2.11. Mur végétaux

Empresa/autor: Patrick Blanc (botànic)

Web: www.verticalgardenpatrickblanc.com [11]

Sector: Arquitectura - botànica

Nom del sistema: **Mur végétaux** (Figures 73 a 77 [11] [32])

Descripció: El sistema, inspirat la vegetació dels boscos tropicals, es fonamenta en el fet que si les plantes reben aigua i nutrients regularment, no estenen les seves arrels cap a l'interior del mur i romanen superficials, de manera que aquest no queda afectat.

Número de patent: FR2634971-A1

Títol: Soilless plant cultivation on vertical support – has rot-proof vertical suport in water bath combined with automatic misting and lighting system

Any: 1990

El mur vegetal està compost per tres parts: Una estructura metàl·lica, una placa de PVC de 10 mm de gruix, i dos mantes de feltre de poliamida de 3 mm cadascuna.

L'estructura metàl·lica es penja del mur o bé és autoportant. Aquesta suposa una cambra d'aire que confereix al mur qualitats aïllants tèrmiques i acústiques. La làmina de PVC s'ancora (reblonat) a l'estructura metàl·lica. Aquesta confereix la impermeabilitat i rigidesa al conjunt.

Finalment, les mantes de feltre de poliamida es grapen a la làmina de PVC. Aquest feltre és antiarrels, i permet la distribució homogènia de l'aigua per capilaritat.

Les plantes es sembren o planten en aquests feltres, amb densitats d'unes tretze plantes per metre quadrat.

L'aigua, amb els nutrients, es subministra des de la part superior, de forma automatitzada, i l'excés es recull a la part inferior i es torna a bombejar cap a dalt, tot configurant un circuit tancat.

Tot el sistema té un pes, plantes incloses, d'uns 30 kg/m² i en principi no té limitació en quan a alçada i dimensions del mur.



Figura 73. Mur végétaux. Caixa Forum Madrid. 2006 [32]



Figura 74. Mur végétal. Caixa Forum Madrid. 2006 [32]



Figura 75. Mur végétal. Les Halles, Avignon. França 2005 [11]

Figura 76. Mur végétal. Detall del recollidor d'aigua inferior [11]



Figura 77. Mur végétal. D'altres exemples d'interiors i exteriors [11]

3.2.12. BRYOTEC Technology

Empresa: MCK Environnement – BRYOTEC

“Le Parc” – F 56190 Arzal

France

Web: www.bryotec.com [12]

Sector: Medi ambient. Restauració de àrees degradades

Nom del sistema: **BRYOTEC Technology** (Figures 78 i 79 [12])

Descripció: Aquesta empresa utilitza les característiques de les molses, com a pioneres, com a colonitzadores, per a restaurar sòls degradats. Així, les molses, capaces de sobreviure en condicions extremes, en sòls àrids, van aportant matèria orgànica al sòl i poc a poc és poblat per d'altres espècies de plantes superiors. Així, MCK ENVIRONNEMENT ha patentat el sistema BRYOTEC Technology de producció industrial d'un inoculat biològic que conté microorganismes i briòfits d'elevat nivell de producció.

Un dels nombrosos usos que es pot donar a aquest producte és la realització de cobertes extensives tot barrejant molses i llavors de plantes adaptades a condicions extremes.

També es proposa la vegetació de material petri amb molses per tal d'aconseguir acabats arquitectònics verticals o en qualsevol pendent.



Figura 78. BRYOTEC Technology. Museu AARAU, Herzog and De Meuron, 2005, Suïssa

Fotos, http://www.greenroofs.com/archives/gf_feb04.htm [12]



Figura 79. BRYOTEC Technology. Munich Re office building. Munich. Germany, 2002 [12]

3.3. La recerca en l'àmbit dels sistemes de vegetació vertical.

3.3.1. Heat and Mass Transfer Technological Center. UPC Barcelona, Spain

El Centre Tecnològic de transferència de calor, de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa, de la Universitat Politècnica de Catalunya, ha dut a terme un experiment, el Greenfacade Project, amb la intenció d'avaluar l'efecte que pot produir l'ombra de plantes enfiladisses en les façanes d'edificacions urbanes [13].

En aquest projecte es pretén trobar solucions als problemes arquitectònics associats amb la vegetació com l'accés per al manteniment, aspecte de la planta des de l'interior, il·luminació, disseny exterior, identificar les espècies més interessants, etc.

D'altra banda s'està desenvolupant un model numèric que permeti determinar la quantitat d'estalvi d'energia per a diferents tipus d'edificacions, orientacions de façana i densitat de vegetació. Aquest model serà validat emprant les dades experimentals que s'obtidran de diferents prototips.

3.3.2. The Green Roof Centre of Excellence (University of Applied Sciences Neubrandenburg), Germany

Manfred Köhler és un dels investigadors més prestigiosos en matèria de cobertes enjardinades d'Alemanya, centrant-se la seva recerca en els efectes ecològics d'aquesta tecnologia [14].

Treballa en estreta relació amb la *Technical University of Berlin*, essent les seves principals línies de treball les diferències de temperatura entre el substrat i l'exterior, l'aigua d'escorrentia, el balanç de radiació, la velocitat de l'aire, etc.

Darrerament, també s'està interessant per les façanes vegetades.

3.3.3. Technical University of Berlin, Germany

Marco Schmidt, del Department of Applied Hydrology, Institute of Landscape Architecture and Environmental Planning, de la Technical University of Berlin, treballa la interacció entre l'aigua i l'energia en cobertes enjardinades [15],[16].

Ha col·laborat amb Sibylle Centgraf de l'Institute of Landscape Architecture and Environmental Planning of Berlin, en temes de gestió de l'aigua per a estalviar energia, essent les línies de treball la vegetació de patis i cobertes, vegetar les façanes, retenció i gestió de l'aigua de pluja, etc.

3.3.4. Environment Canada at the University of Toronto. Centre of Environment. Adaptation and Impacts Research Division, Canada

Brad Brass, està investigant l'ús de la vegetació com a instrument per a reduir els impactes del canvi climàtic [17].

Entre els seus estudis en destaca un del 2007 titulat "Green Roofs and Green Walls: Potential Energy Savings in the Winter", en el qual planteja no tan sols la utilització de cobertes vegetades, si no que destaca el paper de les tanques vegetades com a element d'estalvi energètic.

3.3.5. Tokyo Institute of Technology. Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Japan

Akira Hoyano, fa molts anys que treballa en temes de mediambient urbà i a l'edificació, sistemes solars passius, etc. [18].

Als anys 70 ja va fer les primeres investigacions referents al paper que juga la vegetació en la millora del mediambient urbà, i també en l'àmbit de l'edifici.

3.3.6. Fundación Rafael Escola, Spain

John Laurez, del programa de I+D de la Fundación Rafael Escola, juntament amb les empreses Intemper i Thecnal, i el despatx d'arquitectura Pich Aguilera de Barcelona, van desenvolupar, en el marc de Casa Barcelona 2005 de Construmat, l'anomenada "fachada verde" [19],[20].

3.3.7. Centre for Sustainability of the Built Environment. School of the Environment. University of Brighton, UK

La *School of the Environment* de la Universitat de Brighton s'ha especialitzat en la recerca i la docència referent a diversos aspectes referents al medi ambient en la construcció.

En aquesta universitat s'ha creat el Centre for Sustainability of Built Environment (CSBE), liderat pel professor Andrew Miller i el Dr. Kenneth Ip, centrat en la recerca al voltant del funcionament ambiental dels edificis [21].

Les línies de recerca són el cicle de vida dels edificis, els materials de construcció, les operacions de construcció i gestió dels edificis, la deconstrucció i el reciclatge, l'arquitectura bioclimàtica, qualitat de l'aire interior, les energies renovables i l'emmagatzematge d'energia.

L'any 2003 posaren en marxa el projecte **Bioshader**, en qual es planteja una experiència per tal d'avaluar l'efecte de les façanes vegetades sobre el confort ambiental interior, per mitjà de l'ombra que proporcionen i de l'evapotranspiració.

3.3.8. Centre for subtropical design. Queensland University of technology. Brisbane, Australia

Aquest centre de recerca ha encetat una línia de treball centrada en els façanes vegetades, i en un primer estadi s'ha plantejat de crear una base de dades dels diferents sistemes de façana vegetada arreu del món [22].

3.3.9. Live Building. Integrated Learning Centre. Faculty of Applied Science. Queen's University. Kingston, Ontario, Canada

L'*Integrated Learning Centre* és una plataforma web en la qual els estudiants, professors i investigadors duen a terme diferents experiments i estan disponibles múltiples recursos a l'abast de tothom [23].

D'entre aquests en destaca l'anomenat **Biowall**, un mur vegetal que filtra d'aire interior de les oficines, el qual es fa passar a través d'ell, tot capturant diferents compostos volàtils i CO₂, fet que millora el medi ambient interior.

3.3.10. Departament of Landscape. The University of Sheffield, UK

Nigel Dunnet, pertany al grup de recerca *Urban ecological landscape design and management*, que concentra la seva recerca en temes de paisatgisme, desenvolupament urbà sostenible, jardineria urbana, cobertes vegetades, etc [24].

Juntament amb Noel Kingsbury, jardiner professional, han publicat el llibre "*Planting Green Roofs and Living Walls*", el qual ha esdevingut un referent en aquest àmbit de treball.

3.3.11. Departament of Natural Resources and Agricultural Engineering. Agricultural University of Athens, Grècia

El grup de recerca del Dr. George Papadakis concentra la seva recerca en la utilització de les energies renovables en l'àmbit rural, i especialment en àrees remotes. També té línies de treball en enginyeria agrícola i eficiència energètica [25].

La seva publicació "An experimental investigations of the effect of shading with plants for solar control of buildings" de l'any 2001 aporta dades significatives de com l'ombra de la vegetació pot esdevenir un eficient sistema passiu de control solar.

3.3.12. Mechanicla Engineering. TU Delft, The Netherlands

El grup de recerca Energy Technology té una línia de recerca en eficiència energètica aplicada a l'edificació [26].

Un dels temes d'estudi és el funcionament de les façanes de doble pell, i entre les diferents publicacions en destaca la de "Modelling the double skin façade with plants", fruit d'una investigació en la que es considera com a factors d'interès en el funcionament de la façana de doble pell al substituir les lames interiors per plantes enfiladisses, que a més de proporcionar ombra, no s'escalfen tant, conseqüència del refredament evaporatiu.

3.4. La normativa en l'àmbit dels sistemes de vegetació vertical.

Tot i que determinats sistemes verticals de vegetació d'edificis s'han utilitzat tradicionalment des d'antic, solament s'ha pogut localitzar a **Europa** un document que regula el disseny, construcció, funcionament i manteniment dels sistemes verticals de vegetació d'edificis.

Es tracta de les "Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen" (Directrius per a la planificació, execució i manteniment de façanes, amb plantes enfiladisses), publicada per la associació alemanya de recerca i desenvolupament en paisatge, FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, per primera vegada el 1995 i revisada el 2000 [27].

Aquesta publicació es va desenvolupar conseqüència de la necessitat de regular una pràctica habitual en països de centre Europa, concretament Alemanya, com era la d'utilitzar plantes enfiladisses en les parets de les edificacions, per motius fonamentalment estètics. Als anys 80 es va dur a terme en aquest país una campanya per tal d'afavorir el desenvolupament d'aquestes façanes en moltes ciutats per tal de millorar l'ambient urbà, i passats uns anys va arribar la necessitat de redactar un document que normalitzés aquesta pràctica jardinerà.

En aquest document contempla la utilització d'espatlleres i suports per tal de fer créixer diferents plantes enfiladisses per les façanes dels edificis, així com l'ús d'arbusts de port penjant per a balcons i a la part superior dels edificis.

Cal destacar que aquesta norma es dirigeix cap a la regulació de l'activitat jardinerà en si, desenvolupada pels usuaris dels edificis, i no cap a la regulació des del punt de vista constructiu d'un element previst per l'arquitecte en la fase de disseny.

Els darrers anys la situació ha canviat, tant des del punt de vista conceptual, de manera que a la component estètica se li han afegit d'altres valors que els projectistes contempen cada cop més en l'estratègia de disseny encaminat cap a una edificació sostenible i respectuosa amb el medi que l'envolta, com des del punt de vista tècnic, ja que han aparegut en el mercat nous sistemes constructius de vegetació vertical d'edificis. Aquest fet però, encara no s'ha completat amb una regulació normativa que determinin una classificació dels sistemes, els estàndards constructius, les normes de funcionament i de manteniment, etc.

A **Nord Amèrica**, on la implementació de noves tecnologies de vegetació vertical d'edificis és avui en dia un fet consumat, no existeixen normes que regulin aquests sistemes, ni s'han quantificat tampoc els nombrosos beneficis que aquests sistemes poden aportar [28].

Tot i això, es comencen a tenir en compte aquests sistemes en àmbits de regulació com poden ser ordenances municipals.

Així, en destaca la ordenança municipal Seattle Green Factor. Aquest conjunt d'estratègies pretén augmentar la quantitat i qualitat del paisatge urbà en àrees urbanes denses (barris comercials), alhora que ofereix als projectistes una major flexibilitat en el disseny. Aquest factor verd encoratja a la plantació de capes de vegetació a tots nivells, i tant en l'espai comú com en el privat, per tal de donar continuïtat al sistema. En aquesta estratègia es bonifica l'ús de l'aigua de pluja, la minimització

del consum d'aigua per part de les plantacions, el número i dimensions dels arbres, i les cobertes i façanes verdes en edificis, entre d'altres (Figures 82 i 83) [29].

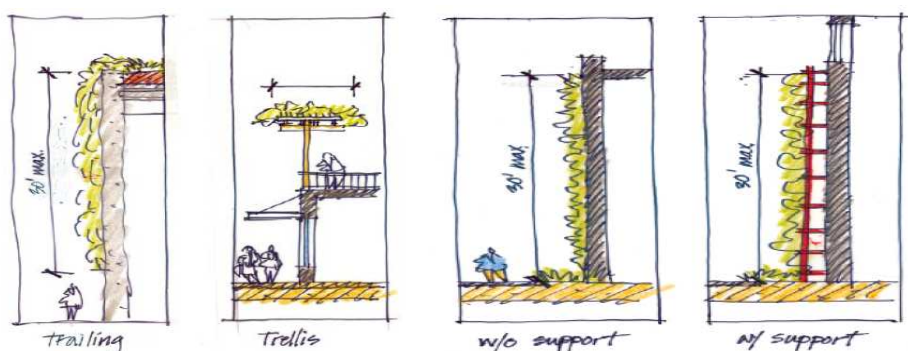


Figura 80. Seattle Green Factor [29]

Criteris d'aplicació del referent a vegetació vertical d'edificis



Figura 81. Zones d'aplicació del Seattle Green Factor [29]

3.5. Conclusions del Capítol 3

- La integració de vegetació en arquitectura ha evolucionat conceptualment els darrers anys des d'una concepció fonamentalment estètica, jardineria, ja sigui de manifestació artística per part del projectista o bé de manifestació de poder econòmic per part del promotor, cap a una "arquitectura vegetada" en la que la vegetació és un element més del edifici, amb

funcions concretes a desenvolupar en l'edifici així com en la seva relació amb l'entorn (aspectes energètics, acústics, de protecció del materials, suport de biodiversitat, etc.).

- En l'àmbit empresarial, s'observa una gran diversitat de sistemes verticals de vegetació d'edificis. Dels dotze sistemes analitzats cinc utilitzen algun sistema de cablejat o enreixat com a suport d'enfiladisses, mentre que els altres set fan anar plafons o geotèxtils ancorats al mur de façana com a suport de tota mena d'arbustos i plantes de port petit.
- En l'àmbit de recerca, s'evidencia que hi ha pocs grups o institucions fent recerca en sistemes de vegetació vertical d'edificis. S'han localitzat onze d'internacionals i un de nacional. En cinc dels dotze els estudis sobre façanes vegetades forma part d'una línia de treball en energia i mediambient en arquitectura, essent en la resta una recerca ocasional.
- Conseqüència de la recent evolució d'aquests sistemes verticals de vegetació d'edificis, no existeixen normatives de caire general que determinin una classificació, regulin els estàndards de construcció, el funcionament o el manteniment dels mateixos.

3.6. Bibliografia i referències

- [1] <http://www.greenscreen.com/home.html> www.prouriba.com
- [2] www.greenrooftops.com
- [3] www.decorcable.com
- [4] www.tenso.es
- [5] www.spanset.es
- [6] www.jakob.ch
- [7] www.elgreenroofs.com
- [8] www.nus.edu.sg
- [9] www.intemper.com
- [10] www.clarkeassociates.cc/index.php?PageName=gr04.php
- [11] www.verticalgardenpatrickblanc.com
- [12] www.bryotec.com
- [13] <http://www.cttc.upc.edu/english/research/greenfacades/index.html>
- [14] <http://www.gruendach-mv.de/en/index.htm>
- [15] <http://www.a.tu-berlin.de/GtE/fg/mitarbeiter/schmidt.html>
- [16] <http://www.gebaeudekuehlung.de/>
- [17] <http://www.ec.gc.ca/scitech/default.asp?lang=En&n=F97AE8341&xsl=scitechprofile.form&formid=E017A360-6EEB-4276-8157-4E1DFE14B2A3>
- [18] http://www.depe.titech.ac.jp/english/laboratory_profile/49.html
- [19] http://www.rafaelescola-fund.org/equipos_bid.php

- [20] http://www.notiweb.info/tematicos_resultado.asp?id=228&informe=1
- [21] <http://www.durabuild.org/>
- [22] <http://www.subtropicaldesign.bee.qut.edu.au/LivingWallsResearch.html>
- [23] http://livebuilding.queensu.ca/green_features/biowall
- [24] <http://www.shef.ac.uk/researchknowledge/researchareas.html>
- [25] http://www.aua.gr/gr/dep/a3i/mhxanologia/cv/papadakis_cv.htm
- [26] <http://www.3me.tudelft.nl/live/pagina.jsp?id=fc5b2f83-61c8-4c22-a465-21af1d8bc73a&lang=en>
- [27] <http://fill-ev.de/shop/login.php/XTCsid/ecdc671fb9294b7b90feff578f887419>
- [28] Green Roofs for Healthy Cities. Introduction to Green Walls Technology, Benefits and Design. Setember 2008.
- [29] <http://www.seattle.gov/dpd/Permits/GreenFactor/Overview/>
- [30] <http://www.rockefellercenter.com/>
- [31] <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=477>
- [32] Fotografies d'elaboració pròpia 2008/2009
- [33] <http://www.edouardfrancois.com/>
- [34] <http://www.ruiz-geli.com/>
- [35] KÖHLER, M. (2007): Rain water management with green roofs and living walls.
- [36] <http://www.abalos-herreros.com/>
- [37] <http://www.clarkeassociates.cc/index.php?PageName=gr01.php>
- [38] <http://www.epdlp.com/edificio.php?id=347>
- [39] <http://www.brunostagno.info/proyectos/proyectos%20pergola.htm>
- [40] <http://www.trhamzahyeang.com/project/skyscrapers/main.html>
- [41] KÖHLER, M. (2008): Green facades – a view back and some visions. Urban Ecosyst 11:423-436.
- [42] Fotos: Cristina Álvarez Vicente
- [43] Arquitecte: Javier de Antón, 2005

SEGONA PART

Capítol 4. Les façanes vegetades de doble pell o cortines vegetals en clima mediterrani

Tradicionalment, s'ha considerat façanes enjardinades a les façanes d'edificis cobertes per vigoroses plantes enfiladisses, les quals han desenvolupat mecanismes d'auto - subjecció i que requereixen pocs o cap suport addicional per tal d'anar cobrint les cares verticals de les edificacions.

Darrerament però, s'estan desenvolupant tot un seguit de sistemes constructius que permeten vegetar les façanes d'edificacions i que han evolucionat conceptual i tècnicament respecte de les tradicionals.

S'observen però, diferències significatives entre sistemes constructius, en quant als sistemes de suport, les espècies vegetades que s'utilitzen, etc., tal i com s'exposa en el Capítol 3. Àmbit d'estudi. Els sistemes de vegetació vertical d'edificis.

Aquest fet és hores d'ara un inconvenient atès que es fa difícil de poder comparar les dades que s'obtenen sobre el funcionament d'uns o altres sistemes de vegetació vertical, ja que són molt diferents. A més a més, aquestes diferències també suposen un fre en quant a la seva utilització en la fase de projecte, doncs es desconeixen els diferents sistemes, el que poden oferir, el seu cost, el seu manteniment, etc., i es tendeix a posar tot en el mateix sac.

Així doncs, es fa necessari establir una classificació que solucioni aquest inconvenient i que permeti poder diferenciar clarament entre sistemes, amb una nomenclatura clara i el més descriptiva possible del tipus de sistema amb el que s'està treballant en cada moment.

Un cop establerta la classificació caldria anar aprofundint en cadascun dels sistemes de forma separada, és a dir, quines espècies vegetals són les més adients per a cadascun d'ells, quins avantatges i desavantatges presenta cada sistema des dels punts de vista constructiu i funcional, etc., sense perdre de vista que els resultats poden variar en funció del clima.

En definitiva, que es fa necessari abordar un treball d'estudi del funcionament de cada sistema de vegetació vertical per a unes condicions climàtiques concretes.

En aquest capítol es proposa en primera instància una classificació general per als sistemes de vegetació vertical d'edificis, per passar tot seguit a l'estudi més acurat d'un d'ells, concretament del que s'ha anomenat "façanes vegetades de doble pell o cortines vegetals" el qual utilitza espècies vegetals enfiladisses.

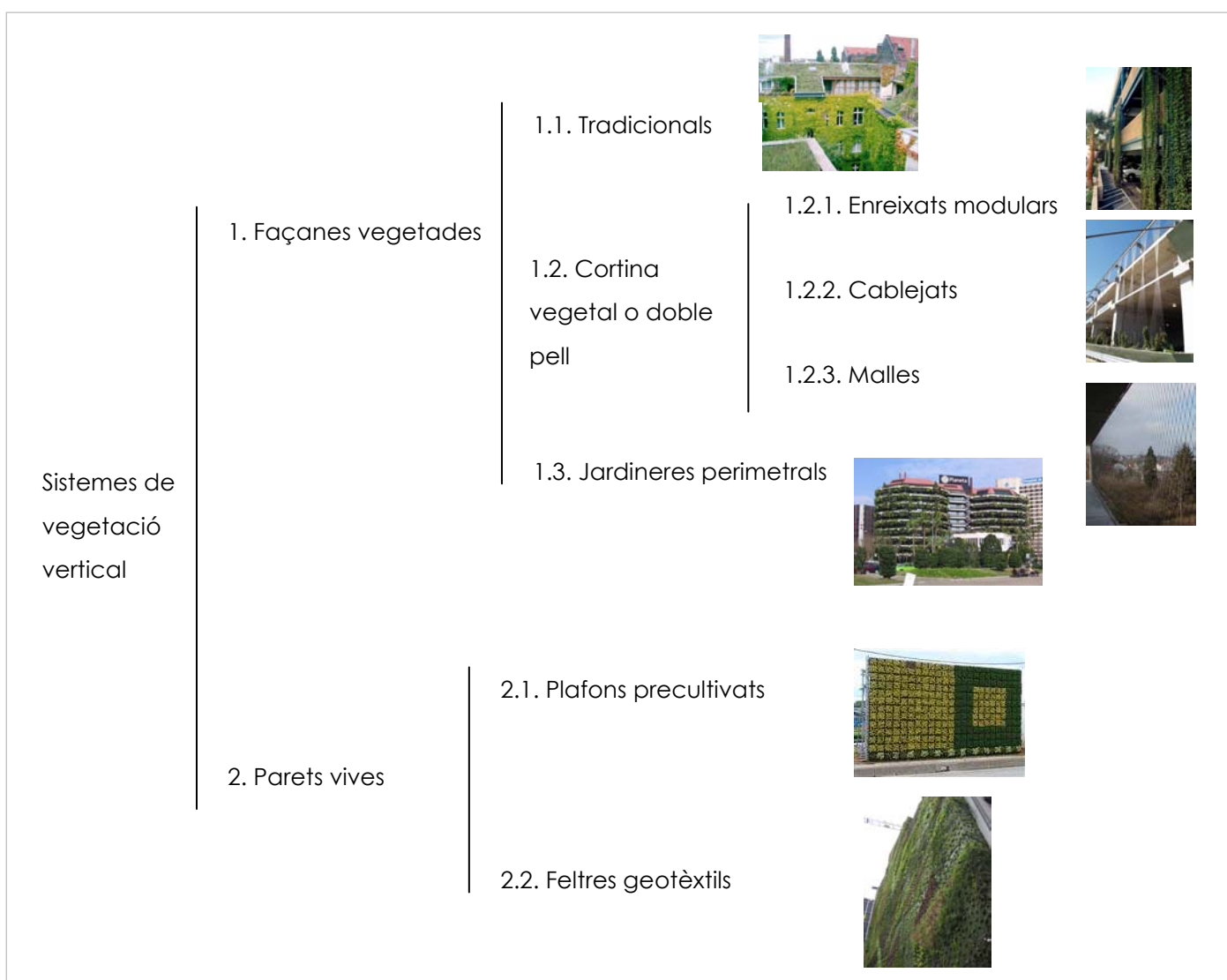
4.1. Classificació dels sistemes constructius de vegetació vertical d'edificis

Basada en la relació de sistemes verticals de vegetació de façanes descrits en el Capítol 3, es planteja la següent classificació.

En primera instància, es poden englobar tots aquests sistemes sota una denominació comú, que pot ser **Sistemes de Vegetació Vertical d'Edificis**.

Una primera gran divisió és la diferenciació entre el que es pot anomenar **Façanes Vegetades** pròpiament dites, i les conegudes com a **Parets Vives** [1], [2].

Dins de cadascun d'aquests dos grans grups es pot establir la següent subdivisió (Esquema 1):



Esquema 1. Classificació dels Sistemes de vegetació vertical d'edificis

1. Les **façanes vegetades** ("green facades") són sistemes de façana en les que plantes enfiladisses o arbusts de port penjant es desenvolupen majoritàriament de forma dirigida, mitjançant estructures especials de suport, fins a cobrir l'àrea desitjada.

Les plantes es poden disposar plantades directament al sòl a la base de l'estructura, en testos a diferents alçades intermitjtes, o a la part superior de la façana.

1.1. Façanes enjardinades **tradicionals**, on plantes de tipus enfiladissa es desenvolupa fent anar com a suport el material de façana (Figura 82) [3].



Figura 82. Façanes vegetades tradicionals [3]

1.2. **Façanes de doble pell o cortina vegetal**: Es tracta de sistemes de vegetació vertical l'objectiu dels quals és crear una doble pell o cortina vegetal separada de la paret de façana.

La separació de la cortina verda que constitueixen respecte de la paret de façana de l'edifici o construcció, és variable segons el sistema de suport emprat.

1.2.1. **Enreixats modulars**: Enreixats metàl·lics molt lleugers muntats sobre la paret de façana o constituint estructures independents, que serveixen de suport a plantes enfiladisses. Exemples d'aplicació són els sistemes comercials:

- Green Screen system (Figura 83)(Capítol 3, sistema 1) [4].
- G-SKY Green Wall Container (Figura 84)(Capítol 3, sistema 2) [5].

1.2.2. **Cablejats**: Mitjançant un sistema de cables d'acer, ancoratges, separadors, i d'altres elements es constitueix una lleugera estructura que serveix de suport a plantes enfiladisses. Exemples d'aplicació són els sistemes comercials:

- Façade Scape system I-SYS Stainless Cables and Rods. Carl Stahl Decorcable (Figura 85)(Capítol 3, pàgina 15, sistema 4) [6], [7].
- Jakob inox line (Figura 86)(Capítol 3, pàgina 18, sistema 6) [9].



Figura 83. Green Screen system [4]



Figura 84. G-SKY Green Wall Container [5]



Figura 85. Façade Scape system I-SYS Stainless [6], [7]



Figura 86. Jakob inox lineCables and Rods. Carl Stahl Décorcable [9]

1.2.3. **Malles:** Com els anteriors, es constitueix una estructura molt lleugera que fa de suport a les enfiladisses, per mitja de malles d'acer que es subjecten a les façanes o l'estructura de les construccions. Exemples d'aplicació són els sistemes comercials:

- FacadeScape system. X-Tend Stainless Steel Flexible Mesh Fabric. Carl Stahl Décorcable (Figura 87)(Capítol 3, sistema 5) [6], [7].

1.3. **Jardineres perimetrals:** Formant part o no de la composició de façana de l'edifici, es disposen jardineres contínues perimetrals en les que es planten arbusts de port penjant tot constituint una cortina verda en la façana (Figura 88) [16].



Figura 87. FacadeScape system. X-Tend Stainless Steel Flexible Mesh Fabric. Carl Stahl Décorcable [6], [7]



Figura 88. Edifici Eurotrading. Lleida [16]

2. Les **parets vives** ("living walls") estan constituïdes per plafons precultivats i/o feltres geotèxtils que es fixen al suport vertical, la paret o estructura de façana, i que fan de suport de la vegetació, formada per plantes tapissants, falgueres, petits arbusts, perennes de flor, entre d'altres.

2.1. **Plafons:** Plafons de diversa índole i mides (d'acer inoxidable, de polietilè d'alta densitat, de xapa galvanitzada d'acer), alguns d'ells precultivats, que disposen d'espais en els que es diposita el substrat i les plantes, els quals es fixen a la paret de façana.

- G –SKY Green Wall Panels (Figura 89) (Capítol 3, sistema 3) [5].
- ELT Easy Green Living Wall Panel. Elevated Landscape Technologies. (Figura 90) (Capítol 3, sistema 7) [10].
- Parabienta "green wall". (Figura 91)(Capítol 3, sistema 8) [11].
- Paramento vegetal vertical. Intemper. (Figura 92)(Capítol 3, sistema 9) [12].
- Green Wall System. Marie Clarke. (Figura 93)(Capítol 3, sistema 10) [13].

2.2. **Feltres geotèxtils:** Sistemes que utilitzen feltres geotèxtils com a suport de les plantes, ancorats mitjançant una estructura de suport a la paret.

- Mur végétaux. Patrick Blanc. (Figura 94)(Capítol 3, sistema 11) [14].
- BRYOTEC Technology. MCK Environnement – BRYOTEC. (Figura 95)(Capítol 3, sistema 12) [15].



Figura 89. G-SKY Green Wall Panels [5]



Figura 90. ELT Easy Green Living Wall Panel [10]



Figura 91. Parabienta "green wall" [11]



Figura 92. Paramento vegetal vertical. Intemper [12]



Figura 93. Green Wall System [13]

A la vista d'aquesta classificació (Esquema 1), hom pot observar les diferències significatives que hi ha entre sistemes alhora d'abordar la vegetació d'una façana.

És interessant doncs arribats a aquest punt, de fer una reflexió de la conveniència d'utilitzar un o altre sistema en funció de les necessitats i condicionats del projecte.

S'han seleccionat sis aspectes genèrics que permetin d'una forma general comparar els diferents sistemes i extreure unes primeres conclusions sobre l'ús dels mateixos.



Figura 94. Mur végétal. Patrick Blanc [14]



Figura 95. BRYOTEC Technology [15]

Cadascun d'ells (excepte el de les espècies), s'ha valorat en una escala de Baix – Mig – Alt.

Aquests aspectes són:

- **Espècies vegetals utilitzades:** Quin tipus d'espècies utilitza el sistema en qüestió.
- **Despeses d'inversió:** Es valora si es preveuen despeses inicials importants. Es vincula a la complexitat de la tecnologia que cal utilitzar.
- **Danys associats:** Es té en compte si el sistema pot ser agressiu amb la arquitectura (materials) que li fa de suport.
- **Manteniment:** Es refereix als esforços i costos de manteniment del sistema un cop implantat.
- **Complexitat de la tecnologia:** Es valora la complexitat del sistema constructiu emprat. Aquest aspecte condiciona les despeses d'inversió i manteniment així com una major dependència respecte de les empreses fabricants.
- **Interacció amb l'arquitectura:** Es té en compte si el sistema forma part del mateix edifici, o és un afegit, si s'integra o simplement el cobreix, en definitiva, en quina mesura influeix en la composició arquitectònica final.

La valoració que s'ha fet de cada sistema, per a cadascun dels aspectes comentats és la següent:

Façanes vegetades. Tradicionals

- **Espècies vegetals utilitzades:** Espècies d'enfiladisses autoportants, que s'arrapen al material de façana, com poden ser l'heura, la parra verge, etc.
- **Despeses d'inversió:** Baix. Sovint estan plantades directament a terra i elles soles van fent.
- **Danys associats:** Mig. Els derivats de les secrecions dels òrgans que utilitza la planta per enfilarse. Per si soles no donen lloc a danys d'importància, essent aquests fonamentalment estètics i de caire superficial.
- **Manteniment:** Baix (Extensiu). Poc, però és imprescindible anar-les esporgant cada any per tal de controlar l'àrea que es desitja tenir coberta de vegetació.

- **Complexitat de la tecnologia:** Baix. En països amb una tradició més arrelada de la seva utilització es fan anar entramats de suport de fusta, acer, etc. Però molt simples i de posar i treure.
- **Interacció amb l'arquitectura:** Alt. Cobreixen tots els elements construïts i per tant la interacció és alta.

Façanes vegetades. Cortina vegetal o doble pell

- **Espècies vegetals utilitzades:** Enfiladisses de diferents tipologies.
- **Despeses d'inversió:** Mig. Es basen en l'establiment d'una estructura simple que faci de suport de l'enfiladissa.
- **Danys associats:** Baix. Cap a l'edifici, i pocs a l'estructura que les sustenta, si està ben dimensionada.
- **Manteniment:** Baix (Extensiu). Cal tenir cura de l'esporga anual de les enfiladisses. Si es tracta d'enfiladisses ubicades en jardineres intermitjies, s'incrementa en manteniment i el reg ha de ser fix.
- **Complexitat de la tecnologia:** Mig. Es tracta de sistemes senzills de suport de les enfiladisses, fàcils de muntar i de desmuntar.
- **Interacció amb l'arquitectura:** Mig. El fet de que els sistemes de suport siguin simples, facilita el seu ús alhora d'integrar-los en l'edifici, o bé de treure'ls si cal.

Façanes vegetades. Jardineres perimetrals

- **Espècies vegetals utilitzades:** Espècies arbustives de port mig i penjant.
- **Despeses d'inversió:** Mig. Cal preveure en el projecte el sistema de jardineria emprat, així com el sistema de reg.
- **Danys associats:** Baix. Les jardineres ja estan preparades per a evitar danys, humitats, etc. No entren en contacte amb la resta d'elements del edifici. Humitats.
- **Manteniment:** Alt (Intensiu). Cal tenir cura dels arbustos, regar contínuament, i fer les esporgues i neteges que calgui.
- **Complexitat de la tecnologia:** Mig. Tot i que són simples jardineres, aquestes es solen dissenyar per a un projecte concret, fet que dificulta la seva implementació.
- **Interacció amb l'arquitectura:** Alt. Les pròpies jardineres formen part de la composició arquitectònica de la façana a banda de l'efecte que es produeix per part de la vegetació un cop s'ha desenvolupat.

Parets vives. Plafons

- **Espècies vegetals utilitzades:** Arbustives de port petit.
- **Despeses d'inversió:** Alt. Cal preveure les despeses d'implantació d'aquests complexos sistemes de vegetació vertical.

- **Danys associats:** Baix. Les plantes no entren en contacte amb la construcció en si. Es preveuen el mecanismes d'impermeabilització necessaris per a evitar danys d'humitats i aigua.
- **Manteniment:** Alt (Intensiu). Cal tenir cura de les plantes les quals viuran en unes condicions totalment intensives, amb poc substrat. Cal aportar aigua i nutrients de forma continua.
- **Complexitat de la tecnologia:** Alt. Requereixen una estructura de suport dels plafons, que juntament amb els propis plafons on s'allotja el substrat i les plantes constitueixen un sistema complex.
- **Interacció amb l'arquitectura:** Alt. Constitueixen un element constructiu en si. En general, es munten recobrint un mur o paret. Formen part de la composició arquitectònica.

Parets vives. Feltres geotèxtils

- **Espècies vegetals utilitzades:** Arbustiu petit i herbaci. Molses.
- **Despeses d'inversió:** Alt. Cal preveure les despeses d'implantació d'aquests complexos sistemes de vegetació vertical.
- **Danys associats:** Baix. Les plantes no entren en contacte amb la construcció en si. Es preveuen el mecanismes d'impermeabilització necessaris per a evitar danys d'humitats i aigua.
- **Manteniment:** Alt (Intensiu). Les plantes viuen en condicions absolutament intensives en el cas dels feltres, essent necessari l'aportació d'aigua i nutrients de forma constant, amb les despeses de manteniment que això comporta. Un cas apart poden ser les molses, que en ambients favorables no necessiten gaire manteniment.
- **Complexitat de la tecnologia:** Alt. Igual que passa amb els plafons, els sistemes són complexos en quant requereixen una estructura de suport físic dels feltres, i cal preveure els sistemes de reg i recollida de l'aigua, etc.
- **Interacció amb l'arquitectura:** Alt. Constitueixen un element constructiu en si. Es munten recobrint un mur o paret. Formen part de la composició arquitectònica.

A la Taula 3 és resumeixen els comentaris anteriors.

En aquesta anàlisi general s'observen les següents diferències principals entre sistemes de vegetació vertical:

- En primer lloc, les espècies vegetals que s'utilitzen poden ser molt diferents, i en conseqüència el sistema constructiu que dóna suport a aquestes espècies varia considerablement. Mentre que en les façanes vegetades, exceptuant les de jardineria perimetral, s'empren espècies enfiladisses, les parets vives empren majoritàriament arbustives de port petit.
- Pel que fa a les despeses d'inversió, les façanes vegetades requeriran en general menors despeses d'inversió, que les parets vives.

- En general, no es preveuen danys importants associats, en cap dels sistemes. En els sistemes on la planta entra en contacte amb la construcció, els danys solen ser superficials. La majoria preveuen mesures de protecció, fet pel qual les plantes i la humitat ja no arriben a contactar amb la construcció.
- En quant al manteniment posterior, les façanes vegetades tendeixen a ser més de caire extensiu, mentre que les parets vives s'atansen més al concepte de jardineria intensiva.
- Les façanes vegetades són sistemes molt més simples que les parets vives, ja que aquest darrers estan pensats per donar suport físic i manteniment (rec i nutrients) a espècies que difícilment creixerien en la posició en la qual estaran, mentre que les façanes vegetades es centren en donar el suport rígid per al creixement de plantes que ja tendeixen a buscar la verticalitat.
- Finalment, totes les tipologies descrites interaccionen en major o menor mesura amb l'arquitectura en la que s'integren, però són potser les cortines vegetades o de doble pell les que, poden donar més joc ja que recuperant la simplicitat d'una façana tradicional, en la que la planta es va enfilant per la paret d'una forma més o menys lliure, ara el que s'articulen són estructures simples de dirigir l'enfiladissa sense contactar amb l'edifici.

Sistemes de vegetació vertical			Espècies vegetals utilitzades	Despeses d'inversió	Danys associats	Manteniment	Complexitat de la tecnologia	Interacció amb l'arquitectura
1. Façanes vegetades	1.1. Tradicionals		Enfiladisses	Baix	Mig	Baix. Extensiu	Baix	Alt
	1.2. Doble pell o cortina vegetal	1.2.1. Enreixat modular	Enfiladisses	Mig	Baix	Baix. Extensiu	Mig	Mig
		1.2.2. Cablejat						
		1.2.3. Malles						
1.3. Jardineres perimetrals		Arbustiu port mig i penjant	Mig	Baix	Alt. Intensiu	Mig	Alt	
2. Parets vives	2.1. Plafons		Arbustiu petit	Alt	Baix	Alt. Intensiu	Alt	Alt
	2.2. Feltres		Arbustiu petit i herbaci, molses	Alt	Baix	Alt. Intensiu	Alt	Alt

Taula 3. Comparació dels diferents sistemes de vegetació vertical d'edificis

A la vista de la Taula 3 i de les argumentacions anteriors, es pot considerar que són les façanes vegetades, i concretament les de doble pell o cortines vegetals les que ofereixen millors expectatives

en quant a proveir superfícies vegetades verticals integrades a l'edificació, mitjançant sistemes constructius senzills i fàcilment desmuntables (si s'escau), de manteniment extensiu.

D'acord amb això, la resta d'aquest Capítol 4 i el Capítol 5 es centraran en l'aprofundiment de l'estudi dels sistemes de façana vegetada de tipus doble pell o cortina vegetal.

En primer lloc s'han estudiat les tipologies d'espècies vegetals enfiladisses, en funció del seu desenvolupament i estratègia de creixement (apartat 4.2.1). Tot seguit s'han relacionat quines d'aquestes espècies són les més adients per a créixer correctament en clima mediterrani (apartat 4.2.2) i s'han vinculat als diferents sistemes constructius.

4.2. Les façanes vegetades de doble pell o cortines vegetals en clima mediterrani

4.2.1. Tipologies d'espècies vegetals enfiladisses per a façanes vegetades de doble pell o cortines vegetals

Tot i que de forma general es pot definir una planta enfiladissa com aquella el creixement de la qual està dirigit a la recerca del contacte amb un suport, d'aquesta tipologia de plantes existeixen diferències significatives entre espècies en funció de la seva forma de desenvolupament [17], [18], [19].

Així hom pot trobar espècies enfiladisses que es corresponen als següents tipus de creixement:

1. **ENFILADISSES VOLUBLES:** El seu sistema de desenvolupament i creixement consisteix en enroscar-se (la tija i/o els circells) amb el suport. En un primer moment les seves tiges es mantenen erguides, i posteriorment, en contactar amb el suport, es desenvolupen tot enrotllant-se a aquest en forma d'hèlix, normalment dextrorsa. L'allargament helicoïdal dels eixos principals i secundaris garanteix a la planta una subjecció molt eficaç.

- 1.1. **Enfiladisses volubles amb circells filiformes:** Són les enfiladisses que tenen circells, filaments prims i tenaços que es cargolen al suport tot fixant-se fortament a ell (Figura 96) [20].



Figura 96. Detall circell [20]

- 1.2. **Enfiladisses volubles amb circells ventosa:** Són aquelles enfiladisses que les terminacions dels circells són adherents (Figura 97) [16].



Figura 97. Detall circell adherent [16]

- 1.3. **Enfiladisses volubles sense circells:** La tija d'aquestes enfiladisses es desenvolupa enroscant-se amb el suport (Figura 98) [16].



Figura 98. Detall tija enroscant-se a malla metàl·lica [16]

2. **ENFILADISSES pròpiament dites:** Són aquelles enfiladisses que no utilitzen el sistema de torsió per a subjectar-se i que han desenvolupat d'altres òrgans particulars per tal de subjectar-se amb força als seus suports.
- 2.1. **Enfiladisses amb arrels adventícies:** Són aquelles enfiladisses capaces de desenvolupar arrels a les tiges, les quals s'introdueixen amb habilitat a la trama del suport, sigui una paret, escorça d'arbres, etc., i que la planta utilitza com a estratègia de desenvolupament (Figura 99) [16].



Figura 99. Detall arrels caulogèniques [16]

2.2. **Enfiladisses amb espines, ganxos o pels corbats cap a darrera:** Generalment es tracta d'enfiladisses l'eficiència màxima de les quals es pot observar en tanques, sota boscos, quan el suport es troba en d'altres plantes, sovint arbustos.

Si les comparem amb les altres, aquestes presenten una major capacitat d'autosuport gràcies a la relativa rigidesa dels seus eixos, a més de posseir un port més caient que de liana (Figura 100) [16].



Figura 100. Detall espines [16]

3. **ENFILADISSES SARMENTOSES:** Són plantes, no exactament enfiladisses, encara que a vegades són parcialment volubles. El seu desenvolupament és desordenat i requereix de punts de recolzament, més que de subjecció, tot adoptant ports desmaiats (Figura 101) [16].



Figura 101. Detall planta sarmentosa [16]

Val a dir però que, aquesta no és una classificació tancada i es poden trobar a la natura d'altres tipus d'estratègies de les plantes per tal d'enfilarse.

D'altra banda, és comú trobar espècies que utilitzen més d'un sistema a l'hora de desenvolupar les seves aptituds enfiladisses.

4.2.2. Relació d'espècies per façanes vegetades de doble pell o cortines vegetals en clima mediterrani

Si es consideren d'una banda, els diferents tipus d'enfiladisses descrits en l'apartat 4.2.1, i de l'altra els sistemes constructius emprats per a obtenir les façanes vegetades, de l'apartat 4.1, l'objectiu dels quals és crear una doble pell o cortina vegetal separada de la paret de façana, es pot relacionar les estratègies de creixement amb els diferents sistemes de suport, fet que facilitarà noblement la tasca de selecció de les espècies vegetals adients en cada cas [17], [18], [19], [21], [22].

Així, per a les diferents espècies, els suports més adients seran:

1. Enfiladisses volubles:

- 1.1. **Enfiladisses volubles amb circells filiformes:** Els seus circells es cargolen al voltant del suport al qual es subjecten fortament. Així, seran idònies les estructures reticulars, amb elements verticals i horitzontals. Aquestes es corresponen amb els **enreixats modulars i les malles**.
- 1.2. **Enfiladisses volubles amb circells ventosa:** En ser enfiladisses autoportants amb circells acabats en glàndules en forma de disc que s'adhereixen a qualsevol superfície, **no requereixen** cap mena de **suport** especial per al seu desenvolupament. En estar en contacte

amb el material de façana el poden danyar lleugerament. En el cas de fer anar sistemes de suport, els més adients seran els **enreixats modulars i les malles**.

- 1.3. **Enfiladisses volubles sense circells:** La seva estratègia de creixement es basa en cargolar-se al voltant del suport. D'acord amb això, solament serà necessari un suport vertical per al seu desenvolupament, essent el sistema de **cablejat vertical** el més adequat, tot i que també es desenvoluparan en **enreixats modulars i malles**.

2. Enfiladisses pròpiament dites:

- 2.1. **Enfiladisses amb arrels adventícies:** De la mateixa manera que les enfiladisses amb circells ventosa, les arrels adventícies que es generen a les branques d'aquestes enfiladisses s'adhereixen a les superfícies dels troncs dels arbres, parets de façana, etc., i **no requereixen cap mena de suport** especial per al seu desenvolupament. En estar en contacte amb el material de façana el poden danyar lleugerament. En el cas de fer anar sistemes de suport, els més adients seran els **enreixats modulars i les malles**.
- 2.2. **Enfiladisses amb espines, ganxos o pels corbats:** En aquests casos els suports més efectius són els **cablejats horitzontals**, ja que aquestes plantes es recolzen en ells i queden ancorades per mitjà de les espines. També es poden desenvolupar en **enreixats modulars i malles**.

3. **Enfiladisses sarmentoses:** Aquestes s'enreden de forma desordenada al voltant dels suports, essent doncs les estructures reticulars les més efectives, tipus **enreixat modular, o bé amb malles**.

D'altra banda, cal tenir present que el correcte desenvolupament de les plantes depèn en gran mesura de la **climatologia**, fet pel qual l'elecció d'aquestes s'ha de tenir lloc tenint en compte la seva rusticitat enfront al clima en el qual s'utilitzaran.

Cal que el desenvolupament de les plantes sigui el correcte si es volen aconseguir resultats favorables en els aspectes funcionals per als sistemes de vegetació vertical definits en el Capítol 2. Aspectes funcionals de la vegetació d'edificis.

S'ha de tenir en compte que el sistema de suport de les plantes es pot generalitzar, però les plantes a emprar no.

Per tant, es fa imprescindible disposar de dades objectives del funcionament de les diferents espècies que es poden fer anar en els diferents tipus de climes, i per als diferents aspectes funcionals relacionats.

En aquest treball, es planteja la utilització de sistemes de vegetació vertical a l'àrea de Catalunya, la qual pertany a la zona climàtica temperada, i en la que el clima predominant és el **Clima Mediterrani** (Veure Annex 1. Dades climàtiques).

Dins del clima mediterrani es poden diferenciar moltes tipologies i subtipologies. Tot i això, s'ha considerat oportú simplificar-ho i diferenciar en l'àrea de Catalunya entre el **Clima Mediterrani Continental** i el **Clima Mediterrani Litoral**.

El Clima Mediterrani Continental es caracteritza per uns hiverns més freds i uns estius més calorosos, essent les pluges també són més escasses.

D'altra banda, el Clima Mediterrani Litoral presenta hiverns bastant secs i estables, estius també secs i càlids, i primaveres i tardors inestables ja que té un règim pluviomètric estacional amb màxims equinoccials.

En la Taula 4, es relacionen les espècies enfiladisses adients per a fer anar en Clima Mediterrani, tot diferenciant entre aquelles que són més apropiades per al Clima Mediterrani Continental i les que ho són per al Clima Mediterrani Litoral. S'han subdividit cadascun d'aquests dos grans grups d'acord a les diferents tipologies d'enfiladissa, segons la classificació anteriorment descrita. També s'indica si les espècies són caducifòlies o perennes.

En l'Annex 2. Espècies vegetals enfiladisses per a Clima Mediterrani, es descriuen les diferents espècies de plantes enfiladisses apropiades per a utilitzar en la realització de façanes vegetades de tipus cortina vegetal o doble pell, en els climes Mediterrani i Mediterrani Continental.

S'ha confeccionat una fitxa per a cadascuna de les espècies, constituïda per tres blocs:

- En el primer bloc s'especifiquen el nom, l'ordre, la família, el nom comú i l'origen de la planta.
- En el segon bloc es descriuen les característiques fenotípiques de la planta, així com els requeriments de la mateixa, per a la seva correcta utilització.
- Finalment en el tercer bloc, s'especifiquen cinc aspectes que són d'especial interès per a la utilització de les plantes en la realització de façanes vegetades de tipus cortina vegetal o doble pell:
 - o Tipus: El tipus d'enfiladissa en funció de l'estratègia que utilitza per enfilar-se i/o subjectar-se al tutor.
 - o Clima: Si és de clima Mediterrani o Mediterrani Continental.
 - o Fulles: Perennes o Caduques.
 - o Alçada: Alçada que es capaç d'assolir.
 - o Sistema constructiu: Sistema constructiu o de suport per al qual serà una espècie adient de fer anar.

TIPUS D'ENFILADISSA		Enfiladisses de clima Mediterrani Litoral	Enfiladisses de clima Mediterrani Continental	Sistema constructiu
Enfiladisses VOLUBLES	Enfiladisses volubles amb circells filiformes	4. <i>Ampelopsis brevipedunculata</i> (C) 16. <i>Clytostoma callistegioides</i> (P) 17. <i>Cobea scandens</i> (P) 18. <i>Distictis buccinatoria</i> (P) 36. <i>Passiflora caerulea</i> (P) 37. <i>Passiflora coccinea</i> (P) 38. <i>Passiflora mollissima</i> (P) 39. <i>Passiflora quadrangularis</i> (P) 49. <i>Solanum jasminoides</i> (P/C) 54. <i>Vitis aestivalis</i> (C) 55. <i>Vitis riparia</i> (C)	4. <i>Ampelopsis brevipedunculata</i> (C) 49. <i>Solanum jasminoides</i> (P/C) 54. <i>Vitis aestivalis</i> (C) 55. <i>Vitis riparia</i> (C)	Enreixats modulars Malles
	Enfiladisses volubles amb circells ventosa	33. <i>Parthenocissus heryana</i> (C) 34. <i>Parthenocissus quinquefolia</i> (C) 35. <i>Parthenocissua tricuspidata</i> (C) 44. <i>Pyrostegia venusta</i> (P)	33. <i>Parthenocissus heryana</i> (C) 34. <i>Parthenocissus quinquefolia</i> (C) 35. <i>Parthenocissua tricuspidata</i> (C)	No requereix suport Enreixats modulars Malles
	Enfiladisses volubles sense circells	1. <i>Actinidia arguta</i> (C) 5. <i>Beaumontia grandiflora</i> (P) 6. <i>Berberidopsis corallina</i> (P) 21. <i>Hoya carnosa</i> (P) 22. <i>Humulus lupulus</i> (C) 23. <i>Ipomoea horrfalliae</i> (P) 24. <i>Ipomoea quamoclit</i> (C) 25. <i>Ipomoea tricolor</i> (C) 26. <i>Jasminum officinalis</i> (P,C) 27. <i>Lonicera americana</i> (C) 28. <i>Lonicera browni</i> (C) 29. <i>Lonicera implexa</i> (P) 30. <i>Lonicera japonica</i> (P) 31. <i>Lonicera periclymenum</i> (C) 32. <i>Pandorea jasminoides</i> (P) 40. <i>Petrea volubilis</i> (P) 41. <i>Plumbago auriculata</i> (P) 42. <i>Podranea ricasoliana</i> (C) 47. <i>Solandra maxima</i> (P) 48. <i>Solanum crispum</i> (P) 51. <i>Thunbergia grandiflora</i> (P) 52. <i>Thunbergia mysorensis</i> (P) 53. <i>Trachelospermum jasminoides</i> (P) 56. <i>Wisteria floribunda</i> (C) 57. <i>Wisteria sinensis</i> (C)	1. <i>Actinidia arguta</i> (C) 2. <i>Actinidia kolomika</i> (C) 10. <i>Celastrus scandens</i> (C) 22. <i>Humulus lupulus</i> (C) 26. <i>Jasminum officinalis</i> (P,C) 27. <i>Lonicera americana</i> (C) 30. <i>Lonicera japonica</i> (P) 31. <i>Lonicera periclymenum</i> (C) 41. <i>Plumbago auriculata</i> (P) 43. <i>Polygonum aubertii</i> (P,C) 48. <i>Solanum crispum</i> (P) 53. <i>Trachelospermum jasminoides</i> (P) 57. <i>Wisteria sinensis</i> (C)	Cablejat vertical Enreixats modulars Malles

(P) Fulla perenne; (C) Fulla caduca; El número es correspon amb el número de la fitxa de l'Annex 2

Taula 4. Espècies enfiladisses per a clima mediterrani litoral i per a clima mediterrani continental

TIPUS D'ENFILADISSA		Enfiladisses de clima Mediterrani Litoral	Enfiladisses de clima Mediterrani Continental	Sistema constructiu
ENFILADISSES pròpiament dites	Enfiladisses amb arrels adventícies	8. <i>Campsis grandiflora</i> (C) 9. <i>Campsis radicans</i> (C) 19. <i>Ficus pumila</i> (P) 20. <i>Hedera helix</i> (P) 53. <i>Trachelospermum jasminoides</i> (P)	8. <i>Campsis grandiflora</i> (C) 9. <i>Campsis radicans</i> (C) 20. <i>Hedera helix</i> (P) 53. <i>Trachelospermum jasminoides</i> (P)	No requereix suport Enreixats modulars Malles
	Enfiladisses amb espines, ganxos o pèls corbats	7. <i>Bougainvillea glabra</i> (P,C) 45. <i>Rosa banksiae</i> (P) 46. <i>Rosa sempervirens</i> (P) 50. <i>Solanum wendlandii</i> (P)	45. <i>Rosa banksiae</i> (P) 46. <i>Rosa sempervirens</i> (P)	Cablejat horitzontal Enreixats modulars Malles
Enfiladisses SARMENTOSES		3. <i>Allamanda cathartica</i> (P) 12. <i>Clematis flammula</i> (P) 13. <i>Clematis macropetala</i> (C) 29. <i>Lonicera implexa</i> (P)	11. <i>Clematis alpina</i> (C) 13. <i>Clematis macropetala</i> (C) 14. <i>Clematis montana</i> (C) 15. <i>Clematis tangutica</i> (P)	Enreixats modulars Malles

(P) Fulla perenne; (C) Fulla caduca; El número es correspon amb el número de la fitxa de l'Annex 2

Taula 4. Espècies enfiladisses per a clima mediterrani litoral i per a clima mediterrani continental (Continuació)

4.3. Conclusions del Capítol 4

- Es pot establir una classificació sota el nom genèric de **Sistemes de vegetació vertical** d'edificis amb una primera gran divisió en **Façanes vegetades** i **Parets vives**. Alhora, aquests dos grups es poden subdividir d'acord a l'Esquema 1.
- Cadascun d'aquestes tipologies presenta unes característiques diferents (espècies utilitzades, despeses d'inversió, danys associats, manteniment, complexitat de la tecnologia, interacció amb l'arquitectura), i per tant cal tenir present la conveniència d'utilitzar un o altre sistema en funció de les necessitats i condicionats del projecte. Aquesta diferenciació cal també tenir-la en compte alhora de comparar resultats de recerca i investigació.
- Es pot considerar que són les façanes vegetades, i concretament les de doble pell o cortines vegetals les que ofereixen millors expectatives en quant a proveir superfícies vegetades verticals integrades a l'edificació, mitjançant sistemes constructius senzills i fàcilment desmuntables (si s'escau), de manteniment extensiu.

- Per a façanes vegetades de doble pell o cortines vegetals, es poden establir llistats d'espècies enfiladisses adients per a un determinat clima (en aquest treball per a Clima Mediterrani), agrupades segons el tipus de suport que millor s'escau al seu desenvolupament (Taules 4 i 5).

4.4. Bibliografia i referències

- [1] NEWTON, J.; GEDGE, D.; WILSON, S.; EARLY, P. (2007): Building Greener – An assessment of the use of green roofs, green walls and other features on and in buildings. CIRIA, London.
- [2] NEWTON, J.; GEDGE, D.; WILSON, S.; EARLY, P. (2007): Building Greener – Guidancen on the use of green roofs, green walls and complementary features on buildings. CIRIA 2007, London.
- [3] Fotografies d'elaboració pròpia. 2008/2009
- [4] <http://www.greenscreen.com/home.html> www.prouriba.com
- [5] www.greenrooftops.com
- [6] www.decorcable.com
- [7] www.tenso.es
- [8] www.spanset.es
- [9] www.jakob.ch
- [10] www.elgreenroofs.com
- [11] www.nus.edu.sg
- [12] www.intemper.com
- [13] www.clarkeassociates.cc/index.php?PageName=gr04.php
- [14] www.verticalgardenpatrickblanc.com
- [15] www.bryotec.com
- [16] Fotografies d'elaboració pròpia. 2008/2009
- [17] CONSOLINO, F.; BANFI, E. (1993): Guia de plantas trepadoras. Editorial Grijalbo.
- [18] MASSANÉS, R. ((2003): Arbustos y trepadoras. Royal Horticultural Society. Editorial Blume.
- [19] BUCZACKI, S. (1994): Plantas trepadoras. Editorial Hermann Blume Ediciones.
- [20] <http://ibizaapiedefoto.blogspot.com/2007/10/circells.html>
- [21] FOLCH, R. (1986): La vegetació dels Països Catalans. Editorial Ketres.
- [22] BURÉS, S. (2000): Avances en xerojardineria. Ediciones de Horticultura.