

Sistemes d'integració de vegetació en edificis

Pàg 03 Les cobertes verdes. Beneficis, classificació i reptes de futur **Pàg 09** Els murs i les façanes verdes. Història, classificació i reptes de futur **Pàg 14** Els serveis ecosistèmics proporcionats pels sistemes d'integració de vegetació en els edificis **Pàg 20** Jardins verticals per al tractament i la reutilització d'aigües residuals urbanes **Pàg 26** El manteniment de la infraestructura verda urbana en l'entorn urbà **Pàg 33** Nous productes **Pàg 41** Parlem amb: Cristina Matos Silva



Joan Gòdia Tresàncez

Director general d'Empreses Agroalimentàries, Qualitat i Gastronomia

La jardineria és l'art d'apropar-nos la bellesa de la natura. Si bé els seus objectius són diferents dels de l'agricultura (producció d'aliments), ambdues comparteixen tècniques de conreu, de millora de sòls i substrats, irrigació, noves tecnologies, etc. Agricultura i jardineria són, en essència, un mateix art amb objectius i finalitats diferents.

D'igual manera que l'agricultura, la jardineria necessita fer un ús més racional i eficient dels recursos de què disposa. La jardineria sostenible intenta minimitzar el seu impacte, respecta i s'adapta al seu entorn ambiental, utilitza plantes autòctones, imita cada vegada més el seu entorn natural. La utilització de plantes crassulàcies amb metabolisme àcid (CAM) o les aromàtiques en són un bon exemple. Les zones enjardinades suposen un bon embornal de diòxid de carboni. Es calcula que, cada any, els espais verds de la ciutat de Barcelona capturen unes 19.000 t de CO₂.

Darrerament, sense oblidar l'agricultura com a gran transformadora i formadora del paisatge europeu, es relaciona jardineria amb paisatgisme fins al punt de parlar de jardiner-paisatgista. El paisatgista posa més èmfasi en

la disposició dels elements en l'espai, en el disseny de jardins.

Els paisatgistes arquitectònics projecten i construeixen espais i solen treballar amb obres de gran mida.

Davant la necessitat d'una formació contínua, el Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural ofereix cursos als professionals a través del Servei de Formació Agrària i de les seves escoles. En aquesta línia, les escoles agràries ofereixen el cicle superior de Paisatgisme i medi rural, adaptat a diferents perfils professionals.

El 75% dels habitants europeus viuen en zones urbanes. La majoria de vegades, l'únic apropament a la natura el tenen gràcies als parcs i jardins de la ciutat on viuen. Barcelona disposa, sense comptar la superfície de Collserola, amb només 5,53 m² d'espais verds per habitant, una ràtio molt per sota de la recomanada per l'OMS (16 m²/habitant). L'escassetat d'espais verds suposa, entre d'altres, una pèrdua de qualitat de vida dels seus habitants, més problemes de salut, una pitjor qualitat de l'aire, gran disminució de la biodiversitat, un major risc d'inundacions, etc.

La utilització de cobertes i façanes verdes incrementa, de facto, la superfície verda urbana i, per tant, contribueix a disminuir aquests efectes. Suposa, a més, una aportació estètica, de regulació de l'entorn, de noves ofertes d'esbarjo (horts socials, per exemple), de producció d'aliments, educatives, culturals, sense oblidar el benefici físic i emocional de la ciutadania.

En aquest *dossier* us expliquem quines tècniques, beneficis i productes s'utilitzen actualment en les cobertes i façanes verdes. Un proper *dossier* explicarà les experiències portades a terme en el nostre país. Esperem que siguin del vostre interès.

Dossier Tècnic. Núm. 124

Sistemes d'integració de vegetació en edificis.
Octubre 2023.

Edició

Direcció General d'Empreses Agroalimentàries, Qualitat i Gastronomia.

Consell de Redacció

Carmel Mòdol Bresolí, Joan Gòdia Tresàncez, Glòria Cugat Pujol, Cristina Massot Berna, Neus Ferrete Gracia, Mercè Soler Barrasús, Enric Vadell Guiral, Albert Alemany Capella, Rosario Allué Puyuelo, Laura Dalmau Pol, Valentí Marco Sanz, Antoni Enjuanes Puyol, Josep Maria Planas Cisternas, Jaume Sió Torres, Constanza Andrea Saavedra Valdés, Joan S. Minguet Pla, Mireia Medina Sala, Maria Josep de Ribot Porta, Rosa Cubel Muñoz.

Coordinació i producció

Maria Josep de Ribot Porta, Imma Malet Prat, Annabel Teixidó Martínez i Gabriel Pérez Luque .

Correcció i assessorament lingüístic

Lluís Piqueres Pla i Susanna Saval Costa

Grafisme i maquetació

Carlos Guzmán Lorente.

Impressió

EADOP

Dipòsit legal

B-16786-05.
ISSN: 1699-5465.

El contingut dels articles és responsabilitat dels/de les autors/es. DOSSIER TÈCNIC no s'hi identifica necessàriament. S'autoritza la reproducció total o parcial dels articles citant-ne la font i l'autoria.

Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural.

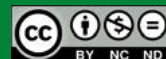
Gran Via de les Corts Catalanes, 612-614. 08007 - Barcelona.

Més recursos, enllaços i versió electrònica:

<https://ruralcat.gencat.cat>
<https://agricultura.gencat.cat/>
e-mail: sia.daam@gencat.cat

Portada:

Autor: Carlos Guzmán Lorente.



LES COBERTES VERDES.

Beneficis, classificació i reptes de futur



Cobertes en entorn urbà. Foto: ZinCo Cubiertas Ecológicas.

01. Les cobertes verdes, una solució a les noves necessitats de les ciutats

En l'actualitat, les ciutats travessen un període de transició entre la vigència dels models urbanístics del segle XX i els nous desafiaments a desenvolupar el segle XXI.

Hi ha molts interessos que condicionen el disseny urbà. Seguim sotmesos a intervencions d'urgència que intenten solucionar problemes a curt termini, i a la cerca imminent de la rendibilitat de les intervencions a qualsevol preu. Hem de fer un canvi de paradigma en

el disseny de les nostres ciutats, incorporant-hi un enfocament que tingui en compte l'efecte de les intervencions urbanes no sols en l'economia, sinó també en el benestar i la dignitat de les persones, en el respecte i cura de la naturalesa i que a més asseguri la sostenibilitat del planeta.

02. Cobertes verdes per a ciutats en transició

En un escenari de transició cap al desenvolupament de ciutats més sostenibles és imprescindible integrar les infraestructures verdes en la planificació urbana.

La infraestructura verda és una xarxa interconnectada dels espais verds i hàbitats de la ciutat i zones naturals pròximes, dissenyada i gestionada per proveir de diferents serveis ecosistèmics, socioambientals i econòmics tant el medi natural i rural, com els mitjans urbans. La infraestructura verda teixeix l'espai públic i presta uns serveis fonamentals per a la qualitat ambiental urbana i per a la salut i el benestar de les persones.

A diferència d'altres infraestructures verdes com ara parcs urbans, vials arbrats, sistemes de drenatge urbà sostenible en terreny, etc. que necessiten

una planificació a escala urbana que comporta processos administratius prolongats en el temps, les cobertes enjardinades es poden incorporar a les nostres ciutats fàcilment, mitjançant la rehabilitació d'edificis existents i/o incorporant-les en els nous projectes d'edificació. Ens aporten una solució factible per aconseguir diferents objectius ambientals i socials sense haver de fer grans inversions.

Les cobertes verdes milloren i faciliten la gestió d'aigües pluvials i d'escolament de les nostres ciutats i, a més, ajuden a mitigar l'efecte illa de calor i millorar la qualitat de vida dels ciutadans. Són espais on augmentar la biodiversitat urbana i la connectivitat de la fauna.

Les cobertes verdes no sols ens ajuden a aconseguir la sostenibilitat, sinó que fan un pas més: propicien la generació de recursos energètics, regulen el flux de les aigües pluvials a la ciutat, conserven i creen nous hàbitats, conceben nous espais per a les relacions humanes, emmarquen nous espais per a l'agricultura urbana, redueixen la contaminació atmosfèrica...

Els terrats verds formen part de solucions constructives regeneratives, solucions que a part de no malmetre el planeta, ajuden a millorar-lo i a restaurar la relació persona-natura. Unes solucions en concordança amb les necessitats actuals i de futur.

03. Però, què ens aporten les cobertes verdes?

Les cobertes verdes a escala urbana tenen com a objectiu disminuir la vul-

nerabilitat i augmentar la resiliència de les ciutats enfront dels efectes del canvi climàtic.

Les cobertes verdes milloren i faciliten la gestió d'aigües pluvials i d'escolament de les nostres ciutats. La projecció dels últims informes sobre el canvi climàtic a Catalunya preveu cada vegada més precipitacions torrencials de manera puntual i localitzada, sobretot a la regió mediterrània. Aquestes precipitacions poden arribar a col·lapsar els sistemes de clavegueram públic i, en conseqüència, augmentar la possibilitat de greus inundacions, amb el risc que comporten.

Un dels grans avantatges de les cobertes verdes és el fet que retenen una part de les aigües pluvials i alliberen la resta de manera gradual, el que disminueix la càrrega sobre les xarxes de sanejament urbanes.

Un altre dels beneficis que aporten les cobertes verdes és que ajuden a

mitigar l'efecte illa de calor i millorar la qualitat de vida dels ciutadans. L'avanç de la urbanització ha significat la desaparició de zones vegetades i això acaba tenint una considerable repercussió en l'escalfament global, en general, i de les ciutats en particular. Això significa que les ciutats absorbeixen una major radiació tèrmica i augmenta la temperatura ambient del seu entorn. Diferents estudis sobre el canvi climàtic pronostiquen per a Catalunya un augment de les onades de calor i un augment de les nits tropicals (nits on la temperatura és superior a 20 °C). Per combatre aquest increment de temperatura ambiental a les ciutats i millorar el confort tèrmic urbà, és imprescindible augmentar la vegetació a les nostres ciutats. La vegetació, mitjançant el procés d'evapotranspiració, absorbeix part de la calor acumulada en els materials inerts i provoca, així, una disminució de la temperatura ambiental.

També les cobertes enjardinades són espais on augmentar la biodiversitat



Coberta biodiversa. Foto: ZinCo Cubiertas Ecológicas.



Coberta verda biosolar. Foto: ZinCo Cubiertas Ecológicas.

urbana i la connectivitat de la fauna entre la ciutat, els espais periurbans i els entorns rurals i/o naturals.

A les nostres ciutats, denses i massificades, cada vegada és més necessari la creació d'espais que permetin les activitats vitals de la fauna i permetin la connexió persona-natura mitjançant la incorporació de diferents comunitats vegetals: parcs urbans, horts en solars, zones periurbanes, cobertes verdes... La diversitat d'hàbitats permet la realització de les diferents activitats vitals de la fauna (hibernada, nidificació, refugi, alimentació, descans, migració) i doten de complexitat i heterogeneïtat els espais verds. Les cobertes verdes poden convertir-se en una alternativa vàlida per compensar la pèrdua de superfícies verdes i crear hàbitats de substitució per a flora i fauna. Especialment les cobertes verdes biodiverses que, amb poc manteniment, són espais idonis per a la creació de nous hàbitats i per a la restauració paisatgística i ambiental local.

Tanmateix, les cobertes verdes aporten espais aptes per a l'agricultura urbana i per a l'educació ambiental. Avui dia cada vegada és més freqüent la preocupació dels ciutadans per tenir una dieta saludable, on es conegui la procedència dels aliments i es valori la producció local o de proximitat. D'altra banda, hi ha un augment progressiu de la població a les ciutats, que comporta un augment de la demanda de productes agrícoles. Els terrats verds són una bona opció per a un model de producció local d'hortalisses, així com per a l'autoproveïment familiar o comunitari. Són espais propicis per a l'educació ambiental, que fomenten la connexió entre diferents generacions amb el consegüent benefici social.

A més a més, són espais on encabir la producció d'energia fotovoltaica. A les ciutats, els terrats són els millors espais per situar instal·lacions de producció d'energia solar fotovoltaica i d'aigua calenta sanitària (ACS). Els panells solars col·locats sobre una

coberta verda poden generar fins a un 16% més d'energia. Els panells fotovoltaics disminueixen el seu rendiment a partir de 25 °C de temperatura ambiental. La vegetació actua com a sistema natural de refredament de la superfície de la coberta i, en conseqüència, dels panells solars.

Les cobertes verdes milloren l'aïllament tèrmic del parc edificatori i disminueixen el consum energètic en climatització, alhora que aporten espais aptes per a l'agricultura i per l'educació ambiental.

Les cobertes verdes milloren l'aïllament tèrmic del parc edificatori i disminueixen el consum energètic en climatització. Un dels beneficis més importants de les cobertes verdes és la reducció dels costos de calefacció i refrigeració que aporten. Aquesta reducció en el consum energètic en climatització dependrà del tipus de sistema de coberta que s'utilitzi, del gruix del substrat que s'incorpori i de la tipologia de vegetació implementada. Un terrat tradicional sense protecció i amb un aïllament deficient tindrà com a conseqüència el sobreescalfament dels habitatges situats just sota, a causa de l'absorció de calor dels materials que formen part de la coberta. L'aïllament addicional que proporciona la coberta verda redueix la transferència de temperatura entre l'interior i l'exterior de l'edifici; això és pel fet que, en la coberta és verda, la vegetació reflecteix la major part de la llum solar en lloc d'absorbir-la, i la que absorbeix la utilitza per a processos d'evapotranspiració que proporcionen un refredament addicional a la coberta. A l'estiu, es redueix la calor excessiva i, durant l'hivern, es minimitzen les pèrdues de calor de l'edifici.



Coberta verda multifuncional. Foto: ZinCo Cubiertas Ecológicas.

04. Definició de coberta verda i tipologies

Una coberta verda és un sistema constructiu amb un acabat superficial vegetal en un edifici, que és concebuda especialment per aconseguir beneficis ambientals. Les cobertes enjardinades formen part de la infraestructura verda urbana i ens ajuden a aconseguir ciutats sostenibles i més resilents davant dels efectes del canvi climàtic.

Un “terrat viu” és aquell que es posa en valor i és utilitzat per veïns, treballadors d'oficines, usuaris d'hospitals o residències..., per fer-hi diferents activitats i encabir diferents usos. Un espai amb vida pròpia que compleix una funció comunitària.

Hi ha molts tipus de cobertes verdes. A continuació s'exposen les diferents tipologies i la seva classificació, amb la finalitat de facilitar la comprensió del seu funcionament i de mostrar les diferents possibilitats quant a sistemes constructius aplicables.

Les cobertes verdes es poden classificar de diferents maneres atès l'ús o finalitat de la coberta, la manera com han estat construïdes i la seva inclinació.

04.01 Classificació en funció dels usos, de la vegetació i dels requisits de manteniment

La coberta verda extensiva és un sistema de coberta vegetada lleugera, implantada en un substrat poc profund i amb contingut baix en nutrients. Inclou una vegetació amb pocs requeriments tant pel que fa al seu desenvolupament, com al seu manteniment. La vegetació emprada en aquestes cobertes són plantes crasses (la gran majoria del gènere *Sedum*), herbàcies perennifòlies, gramínies, bulboses i vivaces. Acostumen a tenir un substrat majoritàriament mineral i molt porós. El gruix de substrat oscil·la entre els 7 i els 15 cm (segons NTJ 11C, 2012). Dins d'aquest apartat, estan les cobertes biosolars, que combinen la generació d'energia solar amb la coberta enjardinada.

La coberta verda semiintensiva és una coberta verda que té característiques entre una coberta extensiva i una coberta intensiva/jardí. Sol tenir més gruix de substrat que les cobertes extensives i la vegetació que s'utilitza té una mica més de requeriments en el manteniment. S'acostuma a plantar vegetació del tipus mediterrani, molt adaptada a la nostra zona. Aquest tipus de coberta permet elaborar composicions més estètiques: jugar amb franges cromàtiques de vegetació, volums, formes... Són cobertes que permeten un trànsit per als vianants i és fàcilment combinable amb zones d'esbarjo i hort per atraure fauna útil. La vegetació que s'utilitza són espècies d'herbàcies, aromàtiques, bulboses, entapissants i arbustives de port baix. El substrat és majoritàriament mineral i porós. El gruix de substrat oscil·la entre els 15 i els 30 cm. El seu percentatge de matèria orgànica és més elevat que al substrat per a cobertes extensives, perquè els requeriments de la vegetació són més elevats. El seu manteniment sol ser moderat. Dependrà molt de tipus de vegetació que s'utilitzi.

Coberta verda + “terrat viu” = disseny urbà multifuncional i sostenible

La coberta verda intensiva és la que proveeix els seus usuaris del benefici similar al que donaria un petit parc urbà. Estan dissenyades especialment per a ús recreatiu i s'hi poden situar elements com els que hi ha en un jardí: il·luminació, làmines d'aigua, cascades, camins per als vianants, pèrgoles, jocs infantils, diferents paviments, mobiliari, vegetació de port elevat (arbres, palmeres, etc.). S'hi empen tot tipus d'espècies vegetals, com en un jardí,

en funció del disseny, la climatologia i la capacitat de sobrecàrrega de la coberta. Plantes herbàcies, aromàtiques, bulboses, entapissants, arbustives, arbòries i palmàcies. El substrat té una part mineral i porosa i una part important de matèria orgànica, perquè la vegetació té més requeriments de nutrients. El gruix de substrat oscil·la entre els 30 i els 100 cm, amb les característiques per a substrats de cobertes intensives que es defineixen en les

NTJ 11 C, 2012. El manteniment de la coberta acostuma a ser elevat, segons si el disseny del jardí ha incorporat paràmetres de jardineria sostenible o no.

Una coberta naturalitzada o biodiversa és una coberta extensiva o semiintensiva però dissenyada específicament perquè s'hi fomenti l'hàbitat d'una flora i d'una fauna concretes. L'objectiu és poder restituir part de l'hàbitat existent a la zona abans de la construcció de l'edifici o augmentar l'hàbitat previ per albergar un sistema ecològic natural concret. Aquestes cobertes podrien servir de connectors de fauna entre els espais verds al voltant de la ciutat i la ciutat. Aquestes cobertes tenen com a objectius principals augmentar la biodiversitat i la recuperació d'hàbitats. Quant a la vegetació, s'acostuma a utilitzar espècies autòctones, comunitats de plantes endèmiques locals. Els substrats que s'acostumen a fer servir barregen una part del sòl natural de la zona amb substrat tècnic de cobertes extensives.



Coberta verda extensiva. Foto: ZinCo Cubiertas Ecológicas.



Coberta verda semi intensiva. Foto: ZinCo Cubiertas Ecológicas.

La coberta aljub és la que està pensada per recollir l'aigua de la pluja i emmagatzemar-la per poder-la utilitzar després en diferents usos: reg per a horts urbans o enjardinaments en la coberta, neteja o descàrregues de WC. Aquest fet suposa una reducció de la demanda d'aigua potable i, per tant, una millora en l'autoproveïment hídric de les ciutats.

04.02 Classificació de les cobertes verdes en funció dels sistemes de construcció de les àrees de vegetació

La construcció de les àrees de vegetació d'una coberta verda està formada per diverses capes funcionals, com per exemple la capa de substrat, la capa filtrant i la capa drenant. Aquestes capes estan compostes per diversos materials que compleixen unes funcions clarament diferenciades i alhora complementàries en el conjunt de la construcció. Aquestes capes han d'estar combinades de manera que

s'aconsegueixi la plena funcionalitat i concordança del conjunt a fi d'oferir el millor hàbitat possible per al desenvolupament de la vegetació.

Es distingeixen tres sistemes de construcció de cobertes verdes:

Sistema multicapa: consta de diferents capes diferenciades cadascuna amb la seva funció. L'objectiu d'aquestes capes és imitar el comportament del medi de creixement de vegetació a la natura. Les capes són: capa de protecció i retenció d'aigua, capa drenant, capa filtrant i capa de substrat i capa vegetal. Alguns dels sistemes multicapa incorporen el reg per degoteig enterrat dins dels seus sistemes.

Sistema monocapa: sistema que consta d'una única capa de substrat amb dues funcions drenant i filtrant. No té una capa drenant específica i pot portar o no capa de protecció. Per garantir l'èxit de la coberta verda utilitzant aquests sistemes, és imprescindible que se segueixin les recomanacions tècniques de la FLL quant a substrat per a cobertes monocapa. La utilització d'aquests sistemes demana un millor coneixement tècnic de la normativa i de control de paràmetres com ara: capacitat drenant, sobrecàrregues, pendent de la coberta, comportament de la vegetació...

Sistemes modulars: sistemes de coberta verda precultiuats i preparats fora de la coberta que acostumen a utilitzar-se en el cas que l'accés en grua a la coberta i en superfícies no gaire grans sigui molt costós. La instal·lació acostuma a ser senzilla i ràpida. Si no es col·loquen de manera contínua i en un mínim de superfície no aporten la totalitat de beneficis de les cobertes verdes. És molt important que aquests sistemes compleixin els requeriments quant a pes mínim del mòdul, perquè el vent no pugui traslladar-los de lloc. Han de constar de diferents capes: protecció, drenant, filtre i substrat seguint els re-



Coberta verda biodiversa. Foto: ZinCo Cubiertas Ecológicas.

queriments de les NTJ11 C, 2012, per garantir el seu correcte funcionament.

04.03 Classificació en funció del pendent de la coberta

Segons quin sigui el pendent de la coberta verda, caldrà prendre mesures per assegurar l'estabilitat del sistema de coberta, l'erosió i el lliscament. Hi ha diferents sistemes que garanteixen el bon funcionament de les cobertes verdes fins a inclinacions de 45°.

Per saber-ne més

Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles de Catalunya 2012, NTJ 11C: Cobertes verdes.

FLL Green Roof Guidelines - Guidelines for the planning, construction and maintenance of green roofs. 2018.

CONTRERAS E., CASTILLO I. (2015), *Guia de terrats vius i cobertes verdes*. Ajuntament de Barcelona. Àrea d'Ecologia Urbana.

Autoria



Elisabeth Contreras Quesada

Enginyera T. Agrícola.

Paisatgista.

Vicepresidenta de l'Associació Espanyola de Cobertes Verdes i Jardins Verticals (ASESCUVE).

elisabeth.contreras@zinc-iberica.es

ELS MURS I LES FAÇANES VERDES.

Història, classificació i reptes de futur

01. Més enllà d'una solució estètica

Els nous reptes que suposa la sostenibilitat obliga a impulsar noves iniciatives, tècniques i solucions que tenen a veure amb la integració de la natura en el sector de la construcció, i no pas entesa com una solució estètica que millori el confort visual dels

projectes arquitectònics, sinó que cada cop agafa més importància el verd com a element constructiu amb capacitats que ara comencem a posar en valor. És així com comencem a relacionar la vegetació amb els edificis per reduir consums energètics (cobertes verdes en són un altre exemple), millorar el confort tèrmic i treballar conceptes biofílics.

Sovint, quan parlem de jardineria vertical apareixen els termes de façana verda i mur verd. Són conceptes similars però no equivalents i solen portar a confusió, atès que el resultat sol ser molt similar. Tots dos sistemes constructius permeten tenir una façana coberta amb vegetació, però és important poder diferenciar els dos sistemes, atès que la tècnica, el cost d'instal·lació i el manteniment que impliquen són aspectes sovint molt diferents.

02. Façana verda

Una façana verda és un revestiment d'una façana amb utilització de planta trepadora mitjançant un sistema de malles o enreixats que permeten el creixement en vertical de les plantes. Les plantes poden estar plantades a terra, a peu de façana, o bé en testos o espais destinats a tal fi, i el temps d'implementació és variable, segons l'altura i tipologia de la façana respecte de l'altura inicial de planta que podem plantar.

Aquesta és la solució més emprada per revestir una façana i és la que menys requisits tècnics necessita a priori. Es tracta d'un sistema que necessita pocs exemplars vegetals per poder arribar a cobrir una gran superfície.

A favor, presenta el seu baix cost d'instal·lació (té una menor relació de plantes/m², una instal·lació de reg més simple i menys kg d'estructura/m²), una major adaptació a la façana existent i un manteniment menor.

Dins de les façanes verdes trobem dos grups: façanes verdes amb única plantació a la base i façanes verdes a partir de mòduls de cultiu distribuïts per la façana.



Mur verd de Patrick Blanc al CaixaForum de Madrid. Foto: Guillem Lacoma.

02.01. Façanes verdes amb plantació única

Aquest tipus de solució és la més tradicional i la que origina el concepte d'envolupant vegetal. Es tracta del cultiu a peu de façana (a terra o en un mòdul de cultiu o jardineria) d'un o més exemplars que trepen per la façana (ajudats o no per estructures en malla) que revesteixen l'edificació o infraestructura. És, en general, el sistema més econòmic tant per la instal·lació com pel manteniment (sovint es pot resoldre amb escales, cistelles o plataformes elevadores), però la part més fràgil pot ser la pèrdua d'un exemplar vegetal que pot fer perdre molts m² de cobriment de façana. Quant a temps per tenir el revestiment, és el que més temps cal destinar per tenir un cobriment alt.



Façana verda. Edifici Districlima, Barcelona 2021. Foto: Guillem Lacoma

02.02. Façanes verdes amb diverses plantacions

Són sistemes basats en el cultiu de diverses espècies de plantes a diferents alçades (generalment en mòduls de cultiu o jardineres), amb exemplars trepadors i plantes voluminoses que aporten un cobriment parcial o total de la façana. Aquest tipus de façanes verdes requereixen una infraestructura que garanteixi la recollida d'aigües drenants, canonades d'abastament d'aigua i sistemes de subjecció especials per a treballs de manteniment de la vegetació.

03. Mur verd

Els murs verds són revestiments de façanes que necessiten un sistema més complex que el vist en una façana verda. En aquest cas els murs verds requereixen una subestructura on fixar els diferents sistemes de cultiu que permeten el desenvolupament de les plantes. En general aquests sistemes de cultiu disposen d'espais suficients per al cultiu d'una densitat de plantes d'entre 25 i 40 plantes/m² de port petit (*jiffy* o alvèol forestal) o mitjà (test de diàmetre 9 cm o de diàmetre 12 cm com a màxim).



Edifici Loom Ferrreteria, Barcelona. Autor: Daniel Mòdol Arquitectes. Fotografia: Guillem Lacoma

De sistemes de cultiu, se'n poden diferenciar dos grans grups: els sistemes basats en el cultiu amb geotèxtil i els medis de cultiu basats en gàbies reblertes de substrat.

Els sistemes de cultiu basats en geotèxtil estan formats per un plafó posterior d'entre 4 i 10 mm de gruix de material impermeable. Generalment sol ser PVC (emprat sobretot quan es demana una resistència al foc elevada), poliestirè o un panell tipus Aquapanel® o equivalent. Sobre aquest suport es fixen un parell de geotèxtils de 250 a 450 gr/m² de densitat mitjançant grapes d'acer inoxidable (de 150 a 300 uts/m²). Sobre el segon geotèxtil es practiquen els talls a modus de butxaca per ubicar les plantes. En funció del grau de tecnificació, es pot tenir un sistema de butxaques cosides o semicosides en panells de mides ja fixes (sistemes més industrialitzats), fet que permet una comercialització més còmoda, alhora que redueix molt el temps d'instal·lació.

En els sistemes de gàbies o modulars ens trobem amb un sistema més senzill. Les gàbies en aquest cas estan formades per una estructura modular en tres dimensions (ample x llarg x alt) on es conté un medi de cultiu on es planten les diverses espècies.

En el sistema de cultiu sobre geotèxtil trobem dos tècniques diferents de cultiu. A saber:

03.01 Mur verd. Geotèxtil-plantació amb substrat

Com hem comentat abans, els sistemes de cultiu amb geotèxtil es componen dels dos geotèxtils fixats a un extrasdós impermeable. En cadascuna de les butxaques, s'hi afegeix substrat (que pot ser molsa *Sphagnum magellanicum* deshidratada, torba rosa, terra de castanyer, un substrat *ad hoc*, etc.). La quantitat de substrat variarà en funció de la mida de la butxaca, però en general sol oscil·lar en-

tre els 250 ml i els 600 ml. Com més volum, més gran pot ser la mida de la planta que es planti inicialment, però la densitat és menor.

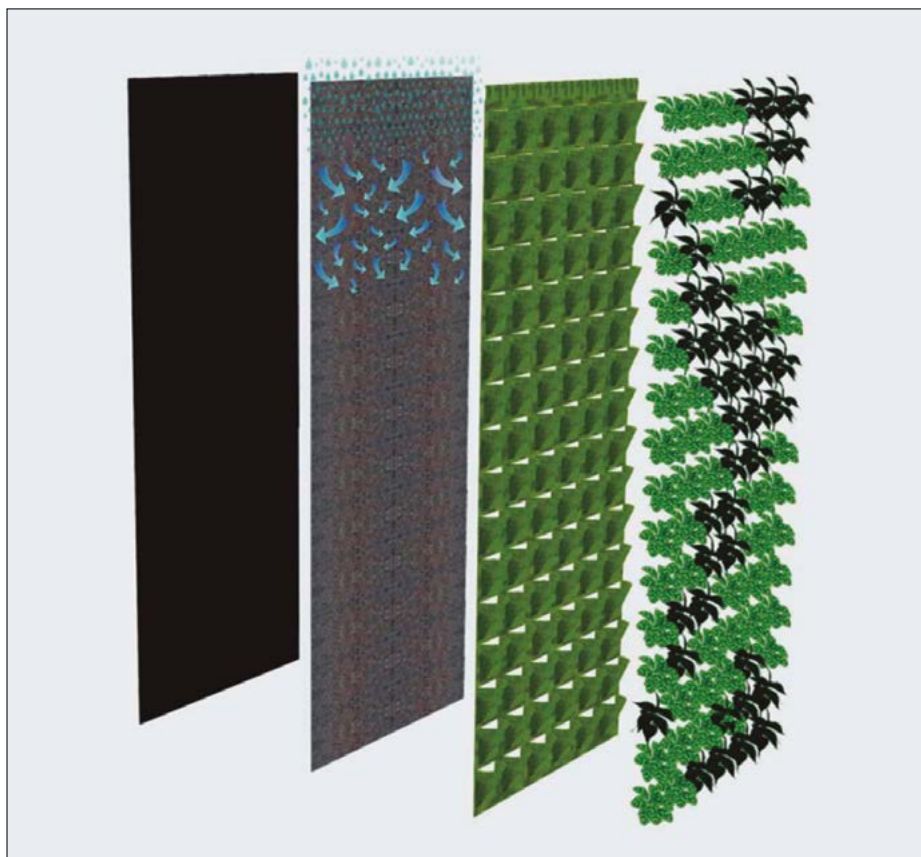
03.02 Mur verd. Geotèxtil-plantació amb arrel nua

Aquest sistema és el més sensible a canvis i el que més tecnificació demana de tots els sistemes de jardineria vertical que comentarem en aquest document.

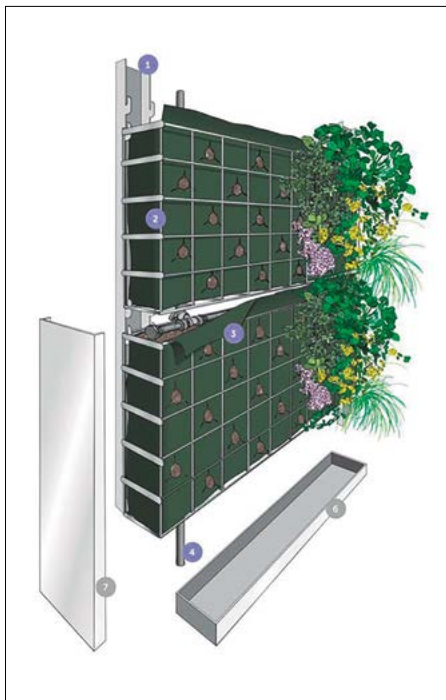
Els murs verds són una solució ràpida i amb cobriment del 100% de la façana des del primer moment.

La plantació es fa netejant el substrat de les arrels dels plançons i col·locant la planta dins de la butxaca, de forma que un cop dins puguem fixar amb grapes (generalment) el geotèxtil exterior i l'interior per assegurar un contacte el més íntim possible. Així es garanteix que les arrels sempre tinguin contacte amb un medi de cultiu hidratat i amb nutrients, atès que com que el geotèxtil és un medi inert cal injectar-hi adob cada cop que es rega.

Com dèiem al principi, aquest és un sistema molt sensible ja que, en cas que el sistema de reg no garanteixi una humitat i aportació de nutrients constant, les plantes es poden deshidratar fàcilment per no tenir cap sistema (substrat orgànic o inorgànic) que els assegurui una major inèrcia. En qualsevol cas, aquesta "fragilitat" pot estar contrarestada amb sistemes de sensors que ajudin a notificar avaries, errors en el sistema o bé ajustar temps de reg per proporcionar la humitat necessària en cada zona.



Capas d'un sistema de cultiu vertical amb geotèxtil. Font: Vertical ecosistema SL



Sistema de cultiu modular. Font: Viviers Ter SA.



Hotel Sofitel Skipper, Barcelona. Sistema iPanel de Verdtical Ecosistema. Foto: Verdtical ecosistema SL.

03.03 Mur verd. Gàbia amb substrat orgànic

Els sistemes basats en gàbies amb substrats orgànics tenen molta variabilitat en mides i materials, però sempre dins d'uns límits, atès el pes que tenen els mòduls de cultiu. Generalment trobem dos tipus de gàbies: gàbies metàl·liques i gàbies plàstiques. Els dos sistemes serveixen per contenir substrat, i les diferències rau en el disseny dels espais per ubicar planta, lleugeresa/pes, durabilitat, sistema de drenar aigua sobrant, etc.

Els substrats orgànics, igual que en el cas dels murs verds de geotèxtil amb plantació amb substrat, poden vari-

ar en funció de la tipologia de planta que es vol cultivar, de la disponibilitat de l'instal·lador, de la necessitat de retenir o drenar aigua, etc. Així doncs, tindrem substrats més específics (*Spahgnum magellicum*, torba rosa, per exemple) o substrats més generalistes (mescles comercials més universals, per exemple).

Aquest sistema aporta una gran inèrcia hídrica, és a dir, que en casos en què el sistema de reg no funcioni correctament (més per falta de reg que per excés), garanteix més temps per procedir a la seva reparació/ajust en comparació amb el sistema de geotèxtil, en el qual, com que hi ha menys substrat o no en té, la reparació ha de ser ràpida per evitar passar massa temps amb les arrels sense hidratació.

03.04 Mur verd. Gàbia amb substrat inorgànic

Els sistemes de murs verds amb gàbies amb substrat inorgànic es limiten a poques solucions en el mercat. La principal solució i més majoritària és la d'emprar llana de roca com a medi de cultiu. Nombroses marques aposten

per aquest sistema, atès que permet controlar l'adobat en cada reg i reté molta humitat alhora que, en entorns freds, protegeix les arrels de les baixes temperatures. L'altra tipus de solució està basada en mescles de materials minerals o provinents de processos industrials. Un exemple seria cultivar amb una mescla de sorra fina, vermicultita i perlita. De tota manera, és un sistema que no s'empra gairebé mai donada la seva complexitat a l'hora de fer les mescles de substrats i no tenir una solució estandarditzada.

04. Reptes de futur

Les façanes verds i els murs verds són solucions basades en sistemes diversos que són objecte de millores contínues per part de fabricants, proveïdors de material vegetal, substrats i sistemes estructurals. Com hem vist, hi ha un grau de tecnificació i complexitat major en els sistemes de murs verds, ja sigui en la part de medis de cultius (gàbies, geotèxtils fixats a panells, etc.), ja sigui en el sistema de control del reg, ja sigui en la fabricació de substrats. Creiem oportú, doncs, classificar les línies de treball que pensem que seran

Els nous reptes de futur passen per aplicar noves tecnologies per fer eficient el reg, sobretot en sistemes tan sensibles com són els murs verds.



Torre Europa, Madrid. Mòdul de cultiu amb llana de roca. Foto: Guillem Lacoma.



Mercat d'Olot, Girona. Sistema modular de Vivers Ter. Foto: Guillem Lacoma.

les que marcaran els reptes de futur del sector de la jardineria vertical.

04.01. Sistemes de reg

Com hem vist, hi ha sistemes que necessiten un major control del reg que d'altres. En aquest sentit ja s'estan aplicant sistemes de reg basats en sensors d'humitat en el substrat per saber quan i com regar, sensors de conductivitat elèctrica per adobar la quantitat i qualitat necessària en cada moment, sensors de cabal i pressió per saber si entra la quantitat d'aigua en cada reg, etc. Tot això ja ho tenim, però el que ara cal és aprendre a analitzar aquestes dades i interpretar-les per tal de fer realment eficient l'ús de l'aigua. De ben segur que els sistemes basats en intel·ligència artificial permetran interpretar correctament el creuament de totes les dades i donar a la planta l'aigua, els nutrients i la resta de condicions que necessita.

04.02. Medis i sistemes de cultiu

Els substrats són materials que, per norma general, s'extreuen de la natura. Són recursos que no presenten una circularitat clara (menys en el cas

del compost vegetal o fems animals). El cas és que no podem estar rescabalant torbes, sorres de canteres, etc. per generar un material que ajudi a cuidar al planeta. En aquest sentit, ja hi ha estudis en què es treballa per generar nous substrats amb capacitats reals de ser emprats com a medis de cultiu amb una alta ciclabilitat.

Per saber-ne més

FLL: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. , Bonn (Alemanya) Reglas generales para el planeamiento y la ejecución de cubiertas ajardinadas. Primera edición 1982, ampliación y normativas para cubiertas vegetales extensivas 1990.

Normas nacionales para la construcción de cubiertas planas y su impermeabilización (AENOR) España, ZVDH (Alemania).

NTJ 11V Normas tecnológicas de jardinería y paisajismo sobre ajardinamientos verticales, Enero 2012.

Blog Verdtical (<https://www.verdtical.com/comunicacion-2/>)

Autoria



Daniel Guzmán González
CEO Verdtical Ecosistema SL.
daniel@verdtical.com



Guillem Lacoma Huerva
Enginyer tècnic agrícola.
info@circulargreen.es

ELS SERVEIS ECOSISTÈMICS proporcionats pels sistemes d'integració de vegetació en els edificis

01. Introducció

El procés d'urbanització de la Humanitat és a hores d'ara imparable. Més del 50% de la població mundial és urbana des de l'any 2021. Actualment, es calculen al voltant de 44 megaciutats, és a dir, àrees urbanes amb més de 10 M d'habitats, i 97 ciutats al voltant dels 5 M d'habitats. El resident urbà mitjà del món viu en àrees urbanes d'uns 625.000 habitants. L'any 2050, es preveu que el 70% de la població mundial viurà en zones urbanes (*Demographia World Urban Areas 18th annual Edition, July 2022*).

En aquest context, durant la darrera dècada ha anat creixent en popularitat un enfocament per al desenvolupament i la gestió urbana i periurbana basat en les solucions basades en la natura (SBN). Les SBN són una de les estratègies més importants en el camí cap a les futures ciutats resilents, sostenibles i circulars que s'ambicionen en els objectius de desenvolupament sostenible (ODS11. Ciutats i comunitats sostenibles).

Les SBN es defineixen com a "solucions inspirades i recolzades per la natura que proporcionen simultàniament beneficis ambientals, socials i econòmics", les quals són sistèmiques, viables i localment adaptades, i, per tant, ajuden a construir la resiliència. Les SBN permeten incorporar processos i característiques naturals a les ciutats que proporcionen múltiples beneficis, altrament anomenats serveis dels ecosistemes (Dumitru, A. & Wendling, L., 2021).



Coberta enjardinada en l'aljub del Parc Científic i Tecnològic Agroalimentari de Lleida. Foto: IT4S Research Group.



Coberta enjardinada semiextensiva Escola Pérez-Iborra de BCN. Foto: IT4S Research Group.



Façana verda de doble pell al Casal Cultural de Golmés de Lleida. Foto: IT4S Research Group.

Entre les diferents SBN que es poden aplicar en els entorns urbans i periurbans, destaquen les cobertes i façanes verdes d'edificis. Aquests innovadors sistemes d'integració de vegetació en l'envolupant dels edificis permeten aprofitar les escasses superfícies disponibles en el dens entorn construït i contribueixen a la renaturalització de la ciutat quan ja no hi ha opció per a les solucions tradicionals, com ara els boscos urbans, els parcs i jardins o l'arbrat de carrer, entre d'altres (Pérez, G. & Perini, K., 2018).

La integració de vegetació en la pell dels edificis és una estratègia que no solament rendibilitza els espais d'oportunitat que brinda el dens teixit urbà, sinó que a més es caracteritza per una proximitat a la ciutadania que s'alinea amb les tendències actuals del desenvolupament urbà (ecociutats).

A més, la provisió de verd de proximitat és de gran rellevància quan la mo-

La integració de vegetació en la pell dels edificis permet proveir verd de proximitat a la ciutadania i aprofita els espais d'oportunitat que brinda el dens teixit urbà.

bilitat de la ciutadania és reduïda; per exemple, gent gran, infants, malalts, persones amb discapacitats, amb horaris laborals exigents, etc., i en situacions de confinament com la que s'ha viscut recentment de manera global amb la crisi de la COVID-19.

Les cobertes i façanes verdes són una molt bona opció en l'estratègia global de renaturalització de les ciutats com a elements de connectivitat entre els elements de la infraestructura verda urbana tradicional.

02. Els beneficis de la integració de vegetació en la pell dels edificis

Els serveis ecosistèmics es defineixen de manera general com les contribucions dels ecosistemes a la Humanitat i al manteniment del medi natural en el qual s'emmarquen. Els serveis ecosistèmics es poden agrupar d'acord amb quatre categories:

- Serveis d'aprovisionament, és a dir, que permeten l'obtenció d'aliments, materials, aigua, recursos energètics, medicines, etc.
- Serveis de regulació i manteniment de l'entorn, com ara la regulació del clima, el control de la contaminació, garantir la pol·linització, el control de la transmissió de malalties, etc.
- Serveis culturals, que inclouen beneficis estètics i espirituals, de recreació i turisme, educació i ciència, entre d'altres.
- Serveis de suport del medi natu-

ral, el quals garanteixen la provisió sostenible i continuada dels serveis d’aprovisionament, regulació, manteniment i culturals. Per exemple, el manteniment de la biodiversitat o la formació de sòl.

La classificació CICES (*Common International Classification of Ecosystem Services*) desenvolupada per l’Agència Europea de Medi Ambient (AEE) proporciona un llistat actualitzat dels serveis ecosistèmics.

El medi construït es caracteritza per un ús massiu de materials inerts i de processos vinculats a l’activitat humana,

majoritàriament desvinculats i antagònics als processos naturals. Aquest metabolisme urbà està exercint una forta pressió sobre el benestar i la salut de les persones i sobre el medi ambient en general. Per tant, la renaturalització de les ciutats ha deixat de ser una opció de disseny per passar a ser una demanda ètica en les polítiques municipals i nacionals.

A les ciutats, la provisió de serveis ecosistèmics està directament relacionada amb el sistema d’espais verds (infraestructura verda urbana) i, especialment, amb el potencial de la vegetació com a element fonamental en

l’estratègia d’incorporar les solucions basades en la natura en la planificació urbana.

Amb la integració d’aquesta vegetació en l’envolupant dels edificis, es garanteix la provisió de múltiples serveis ecosistèmics, tant a escala d’edifici com a escala urbana (taula 1).

02.01 Els beneficis a escala d’edifici

Les cobertes i façanes verdes són veritables sistemes constructius i formen part de l’envolupant de l’edifici. En conseqüència, el seu disseny, execució i manteniment repercuteixen directament sobre el funcionament de l’edifici al llarg de tota la seva vida útil (taula 1).

Les cobertes i façanes verdes contribueixen a la provisió de múltiples serveis ecosistèmics, tant a escala d’edifici com de ciutat.

Dels serveis ecosistèmics d’aprovisionament, en destaca especialment la utilització dels espais de coberta, i parcialment alguns de façana, per a la producció de productes agrícoles, de proximitat i/o autoabastiment, els quals no es limiten als productes alimentaris sinó que també es considera la possibilitat de produir plantes medicinals i aromàtiques, productes de decoració, etc. D’altra banda, activar la coberta facilita la possibilitat de capturar aigua de pluja, una pràctica necessària si es vol garantir el tancament del cicle de l’aigua en el manteniment de l’element verd. En algunes cobertes productives, s’han reportat rendiments de 15 kg/m²/any.

Pel que fa als serveis ecosistèmics de regulació i control, està científica-

	Serveis ecosistèmics			
	Aprovisionament	Regulació i manteniment	Culturals	Suport
Edifici	Captura de l’aigua de pluja	Aïllament tèrmic	Efectes psicològics positius per contacte amb la natura (biofília)	
	Producció de productes agrícoles	Aïllament acústic	Educació mediambiental	
		Protecció dels materials de l’edifici	Millora estètica	
			Revalorització de la propietat	
Ciutat		Reducció de l’efecte illa de calor urbana		Suport a la biodiversitat
		Control i millora de l’escorrentia urbana		Millora de la connectivitat del sistema d’espais verds urbà
		Captura de CO ₂		
		Captura de pol·lució. Fitoremediació		
		Reducció del soroll urbà		

Taula 1. Serveis ecosistèmics proporcionats per les cobertes i façanes verdes. Font: elaboració pròpia.



Mur verd al pati interior de la fàbrica Moritz de BCN. Foto: IT4S Research Group.

ment demostrada la contribució dels sistemes d'integració de vegetació en edificis a l'aïllament tèrmic i acústic de l'edifici.

Estudis previs en clima mediterrani van concloure que, tot i que es pot aconseguir un estalvi energètic anual de quasi el 50% per l'efecte de les cobertes verdes, en edificis ja aïllats aquestes reduccions poden oscil·lar entre el 4% i el 7% (Niachou, A., *et al.*, 2001; Jaffal, I., *et al.*, 2012; Saadatian, O., *et al.*, 2013). A causa de la reducció de la temperatura superficial i l'ombra proporcionada per les plantes, els estudis científics demostren que en el clima mediterrani, en comparació amb un mur convencional, les façanes verdes poden tenir una efici-

ència energètica del 30%, i els murs vius, del 60%, durant la temporada de refredament de l'edifici (Pérez *et al.*, 2014; Coma, J., *et al.*, 2017; Pérez *et al.*, 2017).

Les cobertes verdes, amb capes de substrat entre 15-20 cm, poden proporcionar fins a 10 dB d'aïllament acústic a l'envolupant de l'edifici (Van Renterghem, T., & Botteldooren, 2009, 2011, 2013; Connelly, M., *et al.*, 2013).

Alguns autors han demostrat que les parets verdes també tenen bones propietats d'absorció acústica en comparació amb altres materials de revestiment. Igual que els sostres verds, l'absorció acústica de

les parets verdes depèn del tipus de cobertura verda, la varietat d'espècies vegetals i els materials utilitzats en el sistema. Altres estudis també van obtenir increments de 2 dB de la insonorització amb un mur viu i un augment de 3 dB amb una façana verda (Azkorra, Z., *et al.*, 2015; Pérez, G., *et al.*, 2016).

A més, contràriament del que es podria pensar, en afegir noves capes exteriors a l'envolupant de l'edifici, aquests sistemes proporcionen més protecció dels materials de coberta i façana davant les inclemències meteorològiques, especialment de les làmines impermeabilitzants.

Les cobertes i façanes verdes són veritables sistemes constructius que formen part de l'envolupant de l'edifici.

Finalment, amb referència als serveis ecosistèmics culturals, les cobertes i façanes verdes són elements de disseny arquitectònic de primer ordre que impacten en l'estètica final de l'edifici. Malgrat que no deixa de ser una percepció subjectiva, el seu valor estètic és innegable. La proximitat d'aquesta natura "integrada" a l'edifici permet un contacte ràpid i directe amb els elements naturals que garanteixen l'efecte biofílic i els seus efectes psicològics positius sobre les persones, i contribueixen així a la millora de la salut i el benestar.

S'ha demostrat que el contacte amb la natura beneficia diferents sistemes i funcions corporals, com ara el sistema cardiovascular, el sistema neuroendocrí, el sistema immunitari, l'aparell respiratori i el sistema nerviós, i també fomenta la salut psicològica dels humans.

També destaca el seu valor com a eina per a l'educació mediambiental de la ciutadania.

Tots aquests serveis i beneficis fan percebre l'edifici que integra vegetació com un objecte que, tant des del punt de vista estètic com des de la perspectiva de la construcció sostenible, és més valuós que un de convencional. Les cobertes i murs verds podrien incrementar el valor de les propietats residencials en un 15%.

02.02 Els beneficis a escala de ciutat

Les cobertes i façanes verdes contribueixen a la millora del medi ambient urbà (taula 1). Malgrat que les seves dimensions són limitades respecte dels elements tradicionals del sistema d'espais verds, com ara els boscos urbans, els parcs, etc., la integració de vegetació en les pells dels edificis ha de significar un increment de la superfície verda en les àrees més poblades de les ciutats que val la pena de ser impulsada.

Les cobertes i façanes verdes contribueixen a la millora del medi ambient urbà.

Aquests sistemes proporcionen múltiples serveis de regulació i manteniment en l'àmbit urbà. En destaca la capacitat de reducció de l'efecte d'illa de calor urbana. L'evapotranspiració que proporcionen les superfícies verdes millora les condicions de confort, tant de temperatura com d'humitat, del medi ambient construït. A més, se substitueixen superfícies dures i captadores de calor per vegetació. Generalment, la reducció mitjana de la temperatura circumdant proporcionada per les cobertes verdes és d'1,34° C, ja que varia entre una mitjana

de mínima i màxima d'1 a 2,3° C. Les façanes verdes i els murs vius poden contribuir de mitjana a una disminució de la temperatura urbana d'1,37° C (Qin, X., *et al.*, 2012).

Així mateix, aquests sistemes tenen la capacitat de retenir l'aigua d'escorrentia urbana durant els episodis de pluges fortes, cada cop més freqüents, a conseqüència del canvi climàtic, fet que alleugereix els sistemes de clavegueram urbà. Això no solament evita els danys associats de les inundacions sinó que permet estalviar recursos, en dimensionar els sistemes de drenatge i clavegueram. Molts països ja estan incorporant ajudes a l'establiment de cobertes verdes per millorar el drenatge urbà. En general, les cobertes verdes extensives contribueixen de mitjana un 40% a disminuir l'escorrentia de les aigües pluvials. Una coberta verda intensiva mostra una capacitat mitjana de retenció d'aigües pluvials del 80% (Manso, M., *et al.*, 2021).

La capacitat de segrestar CO₂ de la vegetació està directament relacionada amb la biomassa produïda. L'increment de vegetació a la ciutat mitjançant cobertes i façanes verdes contribueix a la captura de CO₂. En referència a les cobertes verdes, mentre que alguns autors van calcular una capacitat de segrestar d'1,22 kg de CO₂/m²/any, altres van assenyalar que el segrest de carboni de la coberta verda era de 0,313 kg de CO₂/m²/any (George, A. & Palmyra, V., 2012; Heusinger, J. & Weber, S., 2017). En referència als sistemes verticals, es va calcular que l'acumulació mitjana anual de CO₂ va ser de 0,56 kg CO₂/m² (Marchi, M., *et al.*, 2015).

Pel que fa a la captura de contaminants en cobertes verdes, es va mesurar una capacitat d'eliminar el 52% d'O₃, el 27% de MO₂, el 14% de PM₁₀ i el 7% de SO₂ (Yang, J., *et al.*, 2008). Es pot dir que 1 m² de coberta verda pot compensar

les emissions anuals de partícules d'un cotxe (Rowe, D. B., 2011).

A més, està científicament demostrat que la vegetació té la capacitat de capturar i eliminar contaminants i pol·lució (fitoremediació). Els substrats emprats en aquests sistemes, especialment en les cobertes verdes, també poden contribuir parcialment a la captura de contaminants que seran posteriorment degradats i emprats per les plantes. Estudis basats en la deposició en sec en cobertes verdes mostren una capacitat mitjana d'eliminació d'O₃ d'1,96 g/m²/any, de PM10 d'1,47 g/m²/any i de NO₂ al voltant d'1,03 g/m²/any. També es van obtenir resultats mitjans significatius per a SO₂ (0,41 g/m²/any) i CO (0,41 g/m²/any) (Manso, M., *et al.*, 2021). Els murs verds també poden contribuir a l'eliminació de contaminants atmosfèrics fins a un 11,7%-40% de NO₂, un 42%-60% de PM10, un 40% d'O₃, 3,5% de SO₂, 1,34% de CO i també el 34% PM_{2,5} (Pugh, T. A. M., *et al.*, 2012; Jayasooriya V., *et al.*, 2017).

Els sistemes BIG contribueixen a la qualitat de l'escorrentia de l'aigua urbana i disminueixen la quantitat de pols, contaminants i nutrients que s'enviarien al sistema de clavegueram i al corrent receptor (Hashemi, S. S. G., *et al.*, 2015; Steusloff, S., 1998). Les cobertes verdes retenen fins a un 92% de Cb, 97% Cu, 99% Pb, 96% Zn. A més, les cobertes verdes retenen els nutrients, amb una retenció mitjana del 80% de NO₃ i del 68% de PO₄. Alguns autors fan referència a resultats adversos, en què la qualitat de l'aigua es veu afectada per les cobertes verdes, fet que depèn en gran mesura de la composició del substrat.

Finalment, les plantes de les cobertes i façanes verdes poden aportar un cert efecte de reducció del soroll urbà. Se sap que aquest efecte té lloc per l'efecte de difracció del so en el fullatge i per absorció en els substrats i altres materials absorbents emprats.

La disminució dels nivells de soroll varia de 5 dB a 20 dB, segons les freqüències, el tipus de suport, la composició i profunditat del substrat, el contingut d'aigua i els tipus i l'etapa de desenvolupament de les espècies vegetals (Essays, U., 2018; Connelly, M. & Hodgson, M., 2013).

03. La mesura i l'avaluació de l'impacte de les cobertes i façanes verdes

El camí cap a la sostenibilitat, i concretament cap a l'arquitectura i les ciutats sostenibles, passa inevitablement per un canvi conceptual en què cal dissenyar els edificis com a "processos" i no com a objectes.

La incorporació d'elements vius en arquitectura no ha de ser vist com un cost, sinó com una oportunitat. Cal dissenyar els edificis com a "processos" i no com a objectes. La provisió dels serveis ecosistèmics té lloc al llarg de tota la vida útil de l'edifici.

En aquesta nova concepció, que considera totes les fases del cicle de vida de l'edifici, la incorporació d'elements vius que necessiten un manteniment continu, les plantes principalment, no ha de ser vist com un cost, sinó com una oportunitat. L'oportunitat de gaudir dels múltiples serveis ecosistèmics d'aquesta vegetació durant molts anys.

Ara bé, en l'escenari actual, regulat principalment per criteris econòmics, malauradament encara cal justificar el balanç cost-benefici d'aquestes actuacions de renaturalització de la ciutat. En aquest sentit, la possibili-

tat de monitorar i fer l'avaluació dels impactes de les SBN i específicament dels sistemes d'integració de vegetació en l'envolupant dels edificis ha de possibilitar fer aquest balanç cost-benefici. Aquestes dades, a més, han de servir no solament per ser conscients i justificar la viabilitat de les actuacions, sinó també com a eina de millora continuada dels dissenys i les activitats de gestió i manteniment. Aquest darrer procés és crucial i ha de permetre l'optimització de la provisió dels serveis ecosistèmics al llarg de tota la vida útil de l'edifici.

El desenvolupament de plans de monitoratge i avaluació dels impactes, específics per a cada projecte, serà la clau de l'èxit en la futura implementació dels sistemes d'integració de vegetació en edificis. Aquests plans de monitoratge i avaluació d'impactes han de ser científicament robustos, però alhora viables i participatius. La implicació dels principals agents involucrats en els sistemes, arquitectes i enginyers a càrrec del disseny, propietaris dels edificis, usuaris, tant directes com indirectes, i empreses del sector de les cobertes i façanes verdes, serà de gran importància en aquests processos.

Per saber-ne més

Evaluating the impact of Nature-based Solutions. A Handbook for Practitioners. Adina Dumitru and Laura Wendling, Eds. Directorate-General for Research and Innovation Healthy Planet - Climate and Planetary Boundaries. European Commission, 2021.

PÉREZ, G., and PERINI, K. (2018). *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability.* Elsevier. Imprint: Butterworth-Heinemann. eBook ISBN 9780128123249. Paperback ISBN: 9780128121504.

CICES. Common International Classification of Ecosystem Services <https://cices.eu>.

Autoria



Dr. Gabriel Pérez Luque

Director del Departament d'Enginyeria Industrial i de l'Edificació.

Professor agregat. UdL.
IT4S Research Group.
gabriel.perez@udl.cat

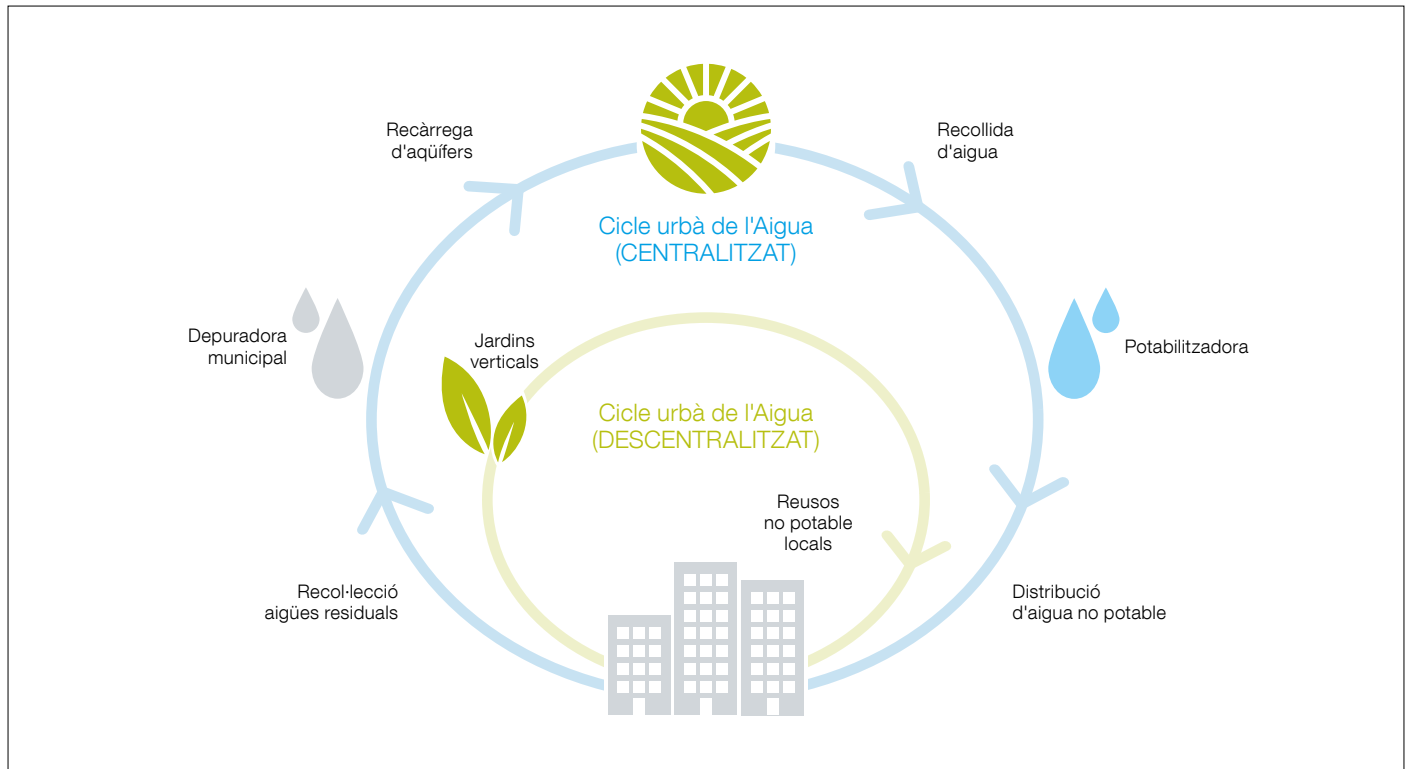


Dr. Julià Coma Arpón

Coordinador del Grau d'Arquitectura Tècnica i de l'Edificació.

Professor lector Serra Hunter. UdL.
IT4S Research Group
julia.coma@udl.cat

JARDINS VERTICALS PER AL TRACTAMENT i la reutilització d'aigües residuals urbanes



El cicle urbà de l'aigua: descentralitzat i centralitzat. Font: Joana Castellar

01. introducció

El desenvolupament de la societat moderna i els processos d'urbanització han contribuït a l'explotació exponencial del capital natural, especialment l'aigua. A més, els pròxims anys, la majoria de la població es concentrarà a les ciutats, i, com a conseqüència, la demanda d'aigua augmentarà, i també la producció d'aigua residual. A causa d'això, hi ha una preocupació creixent pel que fa a la viabilitat dels models actuals de gestió de l'aigua als centres urbans. Actualment, l'aigua es gestiona de manera lineal i centralitzada. Això significa que gran part de l'aigua residual generada a les ciutats és tractada a les depuradores municipals i, per tant, no se'n preveu el tractament i la reutilització a escala local.

Promoure la reutilització segura d'aigües residuals a escala global representa una estratègia crucial per garantir un ús eficient dels recursos hídrics i disminuir la competència amb el subministrament d'aigua potable. En aquest sentit, les aigües residuals domèstiques, principalment les aigües grises (banyeres, dutxes i rentadores, etc.), sorgeixen com a possible font alternativa d'aigua en el marc de gestió descentralitzada. La reutilització d'aigües grises (AG) per a finalitats com ara el reg i la descàrrega de vàter pot generar un estalvi de fins al 45% de l'aigua potable que seria utilitzada per a la mateixa finalitat. Tot i això, en la majoria dels casos, les AG han de ser tractades abans de la seva reutilització per minimitzar els riscos de proliferació de patògens i infeccions i així complir les normatives vigents.

Diverses tecnologies poden ser implementades per al tractament d'aigües grises en esquemes descentralitzats, i les més comunes són els tractaments avançats com, per exemple, osmosi inversa, membranes filtrants, oxidacions avançades i processos electroquímics. Aquests tractaments avançats són molt eficients per eliminar una àmplia gamma de contaminants i ocupen poc espai, cosa que en facilita la implementació en contextos urbans on l'espai és limitat. Tot i això, aquestes tecnologies solen implicar una alta demanda energètica i un cost considerable i poden formar subproductes tòxics.

Per tant, les Solucions Basades en la Natura (SBN) constitueixen un enfocament alternatiu i sostenible per facilitar

la reutilització de l'aigua a les ciutats. Les SBN proporcionen múltiples cobeneficis com, per exemple, millora de la qualitat de l'aire, regulació tèrmica i benestar i són reconegudes com a rendibles i respectuoses envers el medi ambient. Les SBN més comunament implementades en contextos urbans són els aiguamolls construïts i les llacunes. Tot i això, la implementació d'aquestes SBN requereix una gran àrea, i, per tant, es pot veure limitada, especialment en ciutats amb alta densitat poblacional, com, per exemple, els grans centres urbans.

Les Solucions Basades en la Natura (SBN) constitueixen un enfocament alternatiu i sostenible per facilitar la reutilització de l'aigua a les ciutats.

Com a conseqüència, els jardins verticals sorgeixen com a alternativa, ja que es poden implementar en espais buits de parets d'edificis i cases i assumir la funció de tractament d'aigües residuals. A més, la capacitat de tractar i reutilitzar aigües grises a escala local no només contribueix a una gestió sostenible dels recursos hídrics, sinó que també a llarg termini minimitza costos d'operació atès que minimitza el consum d'aigua i nutrients. D'una banda, la investigació en l'àmbit de jardins verticals per al tractament i la reutilització d'aigües urbanes és relativament recent, amb els primers articles científics publicats l'any 2016. D'altra banda, els jardins verticals (JV) són molt coneguts i àmpliament estudiats per la capacitat de promoure la salut mental i el benestar, la biodiversitat, l'aïllament tèrmic i acústic i la millora de la qualitat de l'aire. Els JV aporten un valor estètic

que influeix de manera positiva en la qualitat de vida i en la salut mental dels habitants de les ciutats. Els JV poden actuar com a refugi per a la fauna local i promoure la preservació i l'augment de la biodiversitat. L'evapotranspiració de les plantes i l'efecte d'ombra generen un microclima i, com a conseqüència, les necessitats energètiques per a la refrigeració a l'estiu són minimitzades. Alhora, les plantes són capaces d'interceptar partícules suspeses a l'aire, assimilar contaminants de l'aire i augmentar l'absorció del CO₂ i l'alliberament d'oxigen gràcies a la fotosíntesi.

La faceta multifuncional dels jardins verticals i la necessitat de fer les ciutats més resilient i adaptades al canvi climàtic han fet dels jardins verticals una tecnologia atractiva tant per al sector públicoprivat com per a la investigació acadèmica. Per tant, atesa la rellevància i la novetat de la temàtica, l'objectiu d'aquest article és aportar una visió tècnica sobre els principis fonamentals de funcionament de jardins verticals per al tractament d'aigües grises.

02. Aigües grises: característiques i normativa de reutilització

Aigües grises (AG): són les aigües residuals procedents de totes les activitats domèstiques, tret de les descàrregues de vàters, com, per exemple, l'aigua produïda en banyeres, dutxes, aigüeres de cuina i rentadores. Les AG representen aproximadament el 80% de tota l'aigua residual domèstica. Les AG contenen una gran diversitat de compostos químics i orgànics com, per exemple, sabó, dentífric, xampú, residus de l'afaitat, cabell, pell, sèu, productes químics de neteja de la llar, aliments, olis, greixos i detergents, i poden contenir també traces de femta i orina.

El volum i la composició de les AG depèn principalment dels hàbits de la població, del tipus d'habitatge (comer-

cial, residencial, industrial), del temps d'emmagatzematge i de l'origen (bany, cuina, rentadora). La quantitat d'AG produïda per dia pot variar de 50-150 litres/persona/dia i la qualitat pot empitjorar després d'alguns dies d'emmagatzematge. En termes de paràmetres de qualitat d'aigua, les AG solen tenir *Escherichia coli* (*E. coli*) i coliformes fecals, pH neutral, demanda química d'oxigen i demanda bioquímica d'oxigen del rang de centenars de mg L⁻¹, sòlids suspesos totals per sota de 500 mg L⁻¹, i nitrogen i fòsfor totals per sota d'unes poques desenes de mg L⁻¹.

Fins ara, es desconeix si a l'Estat espanyol hi ha una normativa específica que reglamenti la reutilització d'aigües grises. Per tant, s'aplica el Reial decret 1620/2007, de 7 de desembre, pel qual s'estableix el règim jurídic de la reutilització de les aigües depurades. El RD estableix una sèrie de tràmits per a la concessió del dret de reutilitzar l'aigua residual. La sol·licitud ha de ser presentada a l'òrgan competent i ha d'incloure una freqüència mínima d'anàlisi de qualitat d'aigua basada en tècniques analítiques de referència. Els requisits de qualitat de l'aigua depenen del tipus de reutilització plantejat (p. ex. reg, descàrrega inodora, rentat de cotxe, torres de refrigeració, etc.). Els paràmetres requerits són nematodes intestinals, *E. coli*, sòlids suspesos totals i terbolesa. En alguns casos, se sol·licita també l'anàlisi de *Legionella* spp., *Salmonella*, *Taenia saginata* i *Taenia solium*, nitrats i nitrogen i fòsfor totals.

03. Jardins verticals per al tractament d'aigües grises

03.01 Tipologies de jardins verticals

Hi ha dues tipologies principals de jardins verticals. Els jardins verticals amb plantes enfiladisses (JVE) i els jardins verticals modulars (JVM). Els JVE s'apliquen principalment a exteriors, i s'utilitzen per cobrir la façana de l'edi-

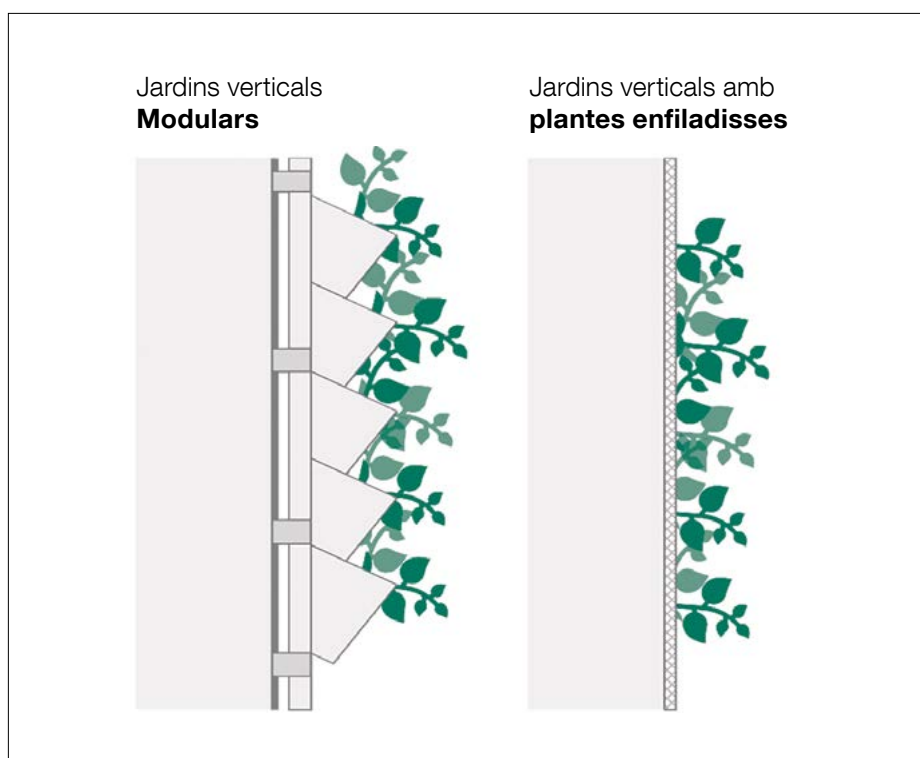
fici directament o indirectament mitjançant l'ús d'estructures externes, com ara sistemes de xarxes de cables i filferros, per guiar el creixement de les plantes enfiladisses que estan plantades al terra o en jardineres. Els JVM es poden implementar tant a interiors com a exteriors a través de l'ús d'estructures externes com panells, mòduls, mantes vegetals, capes de feltre, jardineres o cistelles d'acer que sostenen les plantes i el substrat.

Tot i que totes les tipologies de jar-

dins verticals tenen els mateixos elements essencials per als processos de remoció de contaminants (aigua, plantes i substrat), els JVM tenen un potencial més gran de funcionar com a tractament d'aigües grises. Els JVM són l'única tipologia que permet la interacció entre l'aigua, les plantes i el substrat a tota l'àrea vertical de la façana, cosa que resulta en una àrea de tractament més gran en comparació amb els JVE que tenen una àrea d'interacció limitada al sòl o les jardineres ubicats a la part inferior de la façana.

03.02 Processos de remoció de contaminants

En els jardins verticals, els principals components que actuen en la remoció de contaminants són les plantes i el substrat. Les plantes per si mateixes poden absorbir contaminants dissolts a l'aigua com a part del procés de fitoremediació. Al mateix temps, el substrat per si mateix pot absorbir contaminants en la seva superfície. Tot i això, cal destacar que ambdós processos tenen limitacions a llarg termini. És a dir, la capacitat del substrat d'adsorbir contaminants disminueix amb el temps fins que se satura del tot, i, per tant, és un procés finit. A més, tant la fitoremediació com l'adsorció fomenten la translocació temporal dels contaminants, atès que en algun moment s'haurà de gestionar aquesta acumulació de contaminants tant a les plantes com al substrat.



Les dues principals tipologies de jardí vertical. Font: Joana Castellar.



Jardí vertical tractant aigües grises a Pune, Índia. Foto: IRIDRA, Itàlia.

En els jardins verticals, els principals components que actuen en la remoció de contaminants d'aigües grises són les plantes i el substrat.

Per tant, quan es treballa amb tecnologies naturals com els jardins verticals, és molt important considerar que, més enllà de la contribució de cada component, la interacció entre aigua, planta i substrat és clau perquè els processos de remoció es produeixin a llarg termini. Aquesta interacció facilita processos com la biodegradació microbiana i la precipitació química o biològica. Per exemple, la interacció del substrat, l'aigua i les arrels de la planta és fonamental per a la formació de la biopel·lícula i, per tant, influeix en la capacitat del sistema en la biodegradació i la precipitació a través de microorganismes.

A més, tan important és garantir la formació de la biopel·lícula com garantir-ne la qualitat. És a dir, que és molt important promoure condicions favorables per a la proliferació dels microorganismes necessaris perquè aquests processos es produeixin. Hi ha diversos condicionants que poden influir en la qualitat de la biopel·lícula. Un és la presència o absència, total o parcial, d'oxigen dissolt. Aquesta condició és directament afectada pel disseny i l'operació dels jardins verticals. És a dir, segons com es gestiona el flux d'aigua a les estructures de tractament, es poden generar condicions amb molt d'oxigen dissolt o molt poc, i, per tant, es poden desenvolupar comunitats microbianes molt diferents i amb capacitat de remoure diferents contaminants.

03.03 Rendiment, disseny i operació

Els JV han proporcionat una bona eficiència en termes d'eliminació de nitrogen i de matèria orgànica. Tot i això, l'eliminació d'organismes patògens (p. ex., *E. coli*) es veu limitada, i, per tant, en molts casos l'aigua tractada no compleix les normatives de reutilització. A més, actualment es desconeix el rendiment d'aquesta tecnologia res-

pecte de la remoció de contaminants emergents tòxics com, per exemple, fàrmacs i substàncies perfluoroalquilades o polifluoroalquilades.

Igualment, cal ressaltar que el disseny i l'operació del sistema tenen una relació directa amb l'eficiència de tots els processos de remoció abans esmentats. L'etapa de disseny inclou la selecció de plantes i substrat. Pel que fa a la selecció de plantes, es recomana utilitzar com a mínim 3 espècies autòctones diferents per augmentar la biodiversitat del sistema i la seva capacitat de resistir plagues i malalties. Igualment, és important que aquestes espècies no presentin potencial al·lelopàtic negatiu, és a dir, que generin entre si compostos bioquímics que puguin inhibir la seva supervivència, creixement o reproducció. A més, les espècies han de ser resistents o, com a mínim, no susceptibles a les malalties i plagues existents a l'àrea d'implementació. Les espècies han d'estar adaptades a les condicions del sistema com ara: clima, poca o molta humitat, espai disponible per al desenvolupament d'arrels, alta o baixa incidència solar i altes concentracions de contaminants. Les espècies han de ser capaces d'interceptar ga-

sos amb efecte d'hivernacle, promoure l'absorció de contaminants dissolts a l'aigua i presentar taxes d'evapotranspiració altes per garantir un alt rendiment en la millora de la qualitat de l'aire, neteja de l'aigua i microclima. Finalment, no podem oblidar que les espècies també han de proporcionar un benefici social perquè la tecnologia sigui més fàcilment acceptada en l'entorn de la seva implementació. Per tant, les espècies han de tenir una bona aparença estètica i poden proveir propietats medicinals. El més habitual és emprar espècies ornamentals. Tot i això, l'ús d'espècies agrícoles pot ser una opció, sempre que es considerin les possibles restriccions relacionades amb la normativa vigent sobre el reg de cultius comestibles amb aigües residuals.

Un altre aspecte fonamental del disseny és la selecció del substrat. Alguns exemples de substrats utilitzats en jardins verticals per al tractament d'aigües grises són l'argila expandida, la sorra gruixuda, la pellofa de coco o arròs o les perles de vidre reciclades. El substrat, a més de ser suport per al creixement vegetal, ha de ser lleuger per reduir el pes total de l'estructura i facilitar l'execució en façanes exteriors.



Jardí vertical que tracta aigües grises a Marina di Ragusa, Sicília (Itàlia)
Foto: IRIDRA, Itàlia.



Jardí vertical de tractament d'aigües grises en una escola primària a Ferla (Itàlia). Foto: IRIDRA, Itàlia.

A més, els substrats han de presentar un bon comportament hidràulic i maximitzar el rendiment dels processos de remoció de contaminants i de la regulació tèrmica. Per tant, pel que fa a la selecció de substrat, es recomana tenir en compte la lleugeresa del material i la capacitat de retenir aigua i contaminants i de suportar el creixement de les plantes. Per exemple, la capacitat de retenció d'aigua juga un paper important en l'efecte de refredament i en la remoció de contaminants. L'aigua retinguda al substrat pot evaporar o evapotranspirar a través de les plantes. D'altra banda, també hi influeix el temps disponible perquè els processos de remoció es produeixin. Per tant, alguns paràmetres a tenir en compte durant la selecció del substrat són: la densitat (kg/m^3), la conductivitat hidràulica (m/s) o taxa d'infiltració (mm/h), la mida de partícula (mm), la superfície específica disponible per a adsorció (m^2/g) i la capacitat d'adsorció dels contaminants prioritzats.

Tan important com el disseny és la definició de les condicions d'operació adequades per a un bon funcionament hidràulic i rendiment dels processos de remoció de contaminants. Les principals condicions d'operació que cal tenir en compte són el tipus de reg, intermitent o continu, la càrrega hidràulica diària ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$) i el cabal (m^3/h). Aquestes condicions afecten directament el temps de retenció de l'aigua al sistema, és a dir, el temps en què els contaminants estan exposats als processos de remoció. A més, per exemple, el reg intermitent pot facilitar l'aeració passiva d'oxigen des de l'atmosfera fins a la interfície substrat, aigua i plantes. Com a conseqüència, el reg intermitent afecta la composició de la comunitat microbiana, i, per tant, els processos de biodegradació que s'esdevindran.

En resum, en dissenyar i operar jardins verticals per al tractament d'aigües grises, és primordial definir quins contaminants estan presents en concentra-

cions més grans i requereixen remoció, per exemple, per complir normatives vigents. En segon lloc, cal garantir que el disseny i l'operació del sistema fomenten les condicions ideals per a la remoció d'aquests contaminants.

04. La integració de l'economia circular

La introducció de JV a les ciutats com una alternativa per a la gestió sostenible dels recursos requereix una transició des dels marcs de disseny lineal fins a una visió més holística que inclogui possibles interaccions entre la tecnologia i el seu entorn. En general, les tecnologies són dissenyades com a sistemes individuals i autosuficients centrats a reduir costos i millorar-ne el rendiment, però es presta poca atenció a les possibles interaccions amb l'entorn circumdant.

Tan important com el disseny del jardí vertical és la definició de les condicions d'operació adequades per a un bon funcionament hidràulic i rendiment dels processos de remoció de contaminants.

En aquest sentit, els JV tenen un paper important per "mantenir els recursos en ús". El fet de tractar i promoure el re-ús local de les aigües grises implica la recuperació d'aigua i nutrients. Com a conseqüència, el consum d'aigua potable disminueix i també la importació de nutrients, cosa que disminueix costos d'operació i manteniment de la tecnologia, i, per tant, la fa més atractiva a l'usuari final. A més, aquesta pràctica té un efecte indirecte sobre la reducció de les emissions de CO_2 i consum energètic necessari per a la producció

adobs químics i la mitigació dels efectes negatius de l'acumulació de compostos reactius al medi ambient.

Pel que fa a tancar el cicle de la matèria i biomassa, els JV poden actuar de dues maneres. Una seria a través de la promoció de noves aplicacions per a les deixalles generades per altres cadenes de producció locals. En seria un exemple la reutilització de reciclats per construir estructures o deixalles granulades com a mitjans filtrants. Un altre seria transformar les deixalles produïdes pel JV mateix en subproductes valuosos, com ara biomassa i fertilitzants orgànics a partir de les plantes i els substrats. Cal destacar que els subproductes poden no estar exempts de contaminants tòxics, així que cal una caracterització adequada dels regs implicats en el seu re-ús.

Per tant, per "tancar cicles", juntament amb una inclusió eficient dels JV a l'entorn urbà, cal la identificació de possibles interaccions de la tecnologia amb les cadenes productives locals o fins i tot altres tecnologies ja establertes al lloc d'implementació. A més, en reemplaçar un marc lineal per un de circular, les JV poden tenir un paper clau, més enllà de la provisió de cobeneficis i serveis ecosistèmics, en afavorir la promoció d'un ús eficient dels recursos en línia amb la preservació del capital natural i la reducció de la demanda de matèries primeres externes.

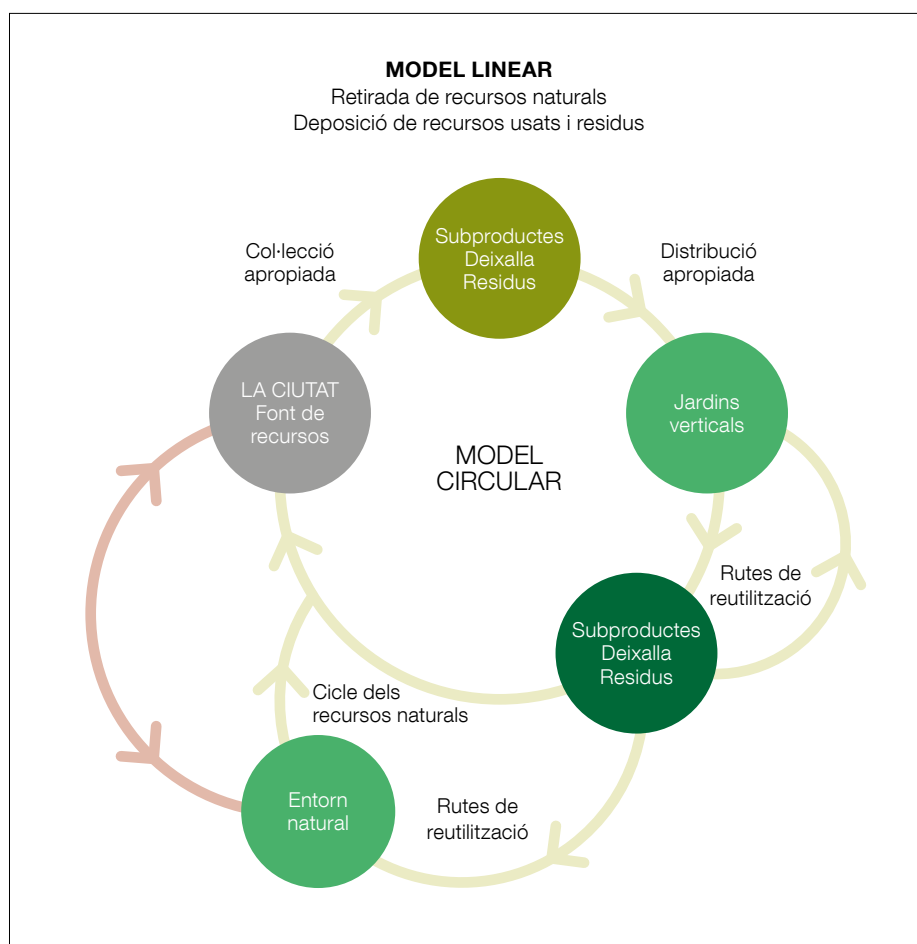
05. Reptes futurs

Els paràmetres de disseny i operació de jardins verticals encara es basen, majoritàriament, en els paràmetres utilitzats per dissenyar i operar tecnologies similars com, per exemple, les zones humides construïdes. A més, hi ha una gran diversitat quant a les estructures de tractament que s'utilitzen, cosa que dificulta l'estandardització de paràmetres d'operació com, per exemple, la càrrega hidràulica ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$) i la definició de directrius tècniques que facilitin

la implementació d'aquesta tecnologia. Aquestes directrius haurien d'aportar principis de dimensionament que puguin, per exemple, predir la quantitat d'AG que pot ser tractada de manera eficient per un sistema específic.

Un altre aspecte rellevant és com garantir la durabilitat d'aquests sistemes. Amb el temps, poden sorgir problemes relacionats amb l'obstrucció o pèrdua de capacitat d'absorció per part del substrat. A més, estructuralment pot aparèixer l'envel·liment de les parts exposades a la intempèrie. Per tant, cal fer estudis a llarg termini per comprendre aquests problemes i evitar la pèrdua d'eficiència del tractament amb el temps.

Els JV tenen una capacitat limitada de remoure patògens nocius per a la salut humana. Per tant, la combinació de jardins verticals amb tractaments avançats podria representar una alternativa per promoure la seguretat de la reutilització d'aigües grises a escala local. A més, cal ressaltar que els contaminants orgànics persistents i tòxics com, per exemple, les substàncies perfluoroalquilades o polifluoroalquilades, surfactants i fàrmacs encara no estan previstos al Reial decret de 2007 o en altres normatives existents per al re-ús d'aigües residuals o grises. Per tant, cal incloure aquests compostos a les normatives vigents. Una altra possibilitat seria el desenvolupament d'una normativa espanyola específica per a la implementació de solucions basades en la natura, com ara els JV, per a la reutilització d'aigües grises a les ciutats. L'existència d'una normativa específica contribuiria substancialment al seu desenvolupament tant pel que fa a l'acceptació social, atès que els usuaris finals se sentirien més segurs en implementar-la, com pel que fa a l'acceptació per part del sector públic i privat, ja que podria legitimar l'ús d'aquestes tecnologies naturals per a aquesta finalitat i minimitzar la càrrega burocràtica implicada.



Jardins verticals i els principis de l'economia circular. Font: Joana Castellar.

Per saber-ne més

<https://www.youtube.com/watch?v=eNOBjt9RTyQ>

BOANO, F., CARUSO, A., COSTAMAGNA, E., RIDOLFI, L., FIORE, S., DEMICHELIS, F., GALVAO, A., PISOEIRO, J., RIZZO, A., & MASI, F. (2020). A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design and environmental benefits. *Science of the Total Environment*, 711, 134731 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134731>.

CASTELLAR, J. A. C., ARIAS, C. A., CARVALHO, P., RYSULOVA, M., PÉREZ, G., BOSCH, Mo., & MORATO, J. (2018). "WETWALL" - an innovative design concept for the treatment of wastewater at an urban scale. *Desalination and Water Treatment*, 109, 205–220 <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22143>.

PRODANOVIC, V., MCCARTHY, D., HATT, B., & DELETIC, A. (2019). Designing green walls for greywater treatment: The role of plants and operational factors on nutrient removal. *Ecological Engineering*, 130 (February), 184–195 <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.02.019>.

Reial decret 1620/2007, de 7 de desembre, pel qual s'estableix el règim jurídic de la reutilització de les aigües depurades, 23 (2007).

Autoria



Joana A. Castellar da Cunha

Project manager/researcher - sustainability
CETAQUA - Barcelona
joana.castellar@cetaqua.com

EL MANTENIMENT DE LA INFRAESTRUCTURA VERDA URBANA en l'entorn urbà



Mantenir les plantes en el seu espai retallant el camí. Foto: Eixverd.

01. Cobertes verdes

01.01 Introducció

Les cobertes verdes són una infraestructura verda emprada en l'entorn urbà com una estratègia d'adaptació al canvi climàtic. Les cobertes verdes són acabaments constructius dels edificis que proporcionen beneficis mediambientals i socials. Així, com a solució constructiva, les cobertes verdes sanegen i impermeabilitzen l'edifici i mitjançant les capes tècniques necessàries (típicament capa de protecció, capa drenant i filtre) en contenir un substrat especial per plantar una vegetació autòctona de requeriments hídrics baixos. Aquest substrat especial pesa poc, drena molt, reté aigua i té poc contingut en matèria orgànica. El tipus de vegetació vindrà determinada pel gruix de substrat que

s'hagi disposat a la coberta, normalment limitat per la càrrega disponible de l'edifici o per qüestions pressupostàries. Així, en cobertes amb un gruix inferior a 15 cm es podrien plantar plantes entapissants o crasses; en gruixos superiors a 15 cm podríem plantar gramínies o arbustives mediterrànies, i en gruixos superiors a 40 cm ja podríem plantar arbres petits i arbusts més grans. Entre els beneficis socials de les cobertes verdes podem incloure l'aïllament tèrmic, l'aïllament acústic, l'absorció de pol·lució, la gestió sostenible de les aigües pluvials, la producció d'aliments i l'espai de gaudi comunitari, entre d'altres.

Una coberta verda no deixa de ser un jardí i per tant, al igual que un jardí convencional, necessita d'una planificació anual per garantir la supervivència del mateix.

01.02 Diferències entre jardí convencional i coberta verda

Per comprendre les diferències entre el manteniment d'una coberta verda i el d'un jardí tradicional, s'han d'entendre els factors d'estrès de les plantes en una coberta verda.

En una coberta verda, la insolació acostuma a ser més elevada perquè no hi ha arbres ni volums confrontants que hi facin ombra. També el vent és més elevat, ja que no hi troba impediments. Donat que la coberta verda està instal·lada en un entorn aliè, el nivell de nutrients i retroalimentació és inferior que un jardí convencional (per exemple, menys insectes beneficiosos com les abelles o menys cucs de terra...). Finalment, les plantes treballen amb un nivell de terra al límit i, per tant, el control del reg ha de ser més estricte ja que qualsevol avançament de l'increment de les temperatures pot fer que els paràmetres de reg no estiguin adaptats. En resum, en una coberta verda les plantes pateixen més radiació solar, més vent, tenen menys aigua i menys substrat disponible, i tot plegat fa que tinguin menys capacitat de resiliència envers els factors adversos.

Per aquest motiu, el manteniment de coberta verda ha de ser fet per jardineros experts i amb una freqüència superior que als jardins convencionals.

01.03 Conceptes de manteniment

El manteniment d'un jardí en una coberta verda inclou algun dels mateixos conceptes que en un jardí tradicional, però amb unes particularitats que ara detallarem.

Control del reg: és important que 'tot el sistema de reg estigui controlat i lliure de qualsevol fuita o mal funcionament durant tot l'any. Així, evitarem problemes inesperats. Cal fer controls a cada visita, i amb una certa freqüència s'han de fer les tasques següents:

- Provar totes les electrovàlvules
- Purgar canonades mitjançant l'aixeta de drenatge
- Netejar filtres
- Moure vàlvules d'esferes per evitar que s'encallin
- Cicles de reg manual de poca durada per revisar sector
- Revisar caixes de drenatge
- Netejar embornals

Fertilització de la coberta: dos cops a l'any, a la primavera i a la tardor, amb un substrat orgànic i equilibrat.

Control de plagues de manera ecològica: Es té cura de la fauna auxiliar, i sempre que es pugui s'han de fer

servir productes ecològics com ara el sabó potàssic, l'oli de neem o la terra de diatomees. De vegades, si la plaga no està molt estesa, es pot treure la part afectada de la planta si no es compromet la seva supervivència. En termes generals, si a la coberta hi ha un bon equilibri, no haurien d'aparèixer problemes greus. La introducció de plantes a les cobertes té repercussions directes en la biodiversitat urbana, però també constitueix l'hàbitat de molta fauna auxiliar que participa en el control biològic de les plagues i malures de la vegetació. Tot està connectat. **Poda:** la poda és molt important per delimitar els espais entre plantes, per fer el control de creixement i per renovar la planta si escau.

Freqüència de manteniment mínim: es compon de 18 visites a l'any:

- Temporada tardor-hivern: 1 visita al mes

- Temporada primavera-estiu: 2 visites al mes

En termes generals, aquesta és l'evolució del manteniment de les plantes amb el pas del temps:

- Primer any de vida del jardí: durant el període d'implantació, és important observar el desenvolupament de la vegetació fer un control exhaustiu de les necessitats hídriques i, si escau, regar manualment en èpoques de sequera.
- Segon any: contenir i definir els grups de plantes herbàcies, de manera que unes no conquereixin l'espai de les altres, i respectar així el disseny de plantació inicial.
- Tercer i quart any: fer una poda per rejuvenir i donar forma a les mates arbustives, com per exemple evitar que les lavandes es tornin llenyoses i amb els peus despoblats, ja que la fusta lignificada i vella no brolla.

Tasques de manteniment	Hivern			Primavera			Estiu			Tardor		
	GN	FB	MÇ	AB	MG	JN	JL	AG	ST	OC	NV	DS
Observació estat del jardí	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Desherbatge manual de plantes adventícies	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Retirada de floracions seques i plantes mortes	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Poda arbustiva	1	1										
Poda arbres		1										
Retallada de vegetació herbàcia	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Sega de gramínies	1	1										
Fertilització			1							1		
Control de plagues	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Tractament de plagues i malalties (si escau)	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Control i neteja canonades degoteig	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Control dels embornals		1			1			1			1	
Control necessitats hídriques	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Replantació (si escau)			1	1						1		
Rasclonar camins de graves			1			1			1			1
Neteja mobiliari			1			1			1			1
Retirada de restes vegetals	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1

*Els tractaments fitosanitaris es faran amb productes biològics i respectuosos amb el medi ambient.

■ Temporada Tardor-Hivern: 1 visita al mes ■ Temporada Primavera-Estiu: 2 visites al mes En total 18 visites/any

Taula 1. Detall de tasques i visites anuals. Font: elaboració pròpia.

Podem dir que les tasques de manteniment serveixen per obtenir així un jardí amb una cobertura vegetal exuberant, una perspectiva visual profunda i uns matisos florals durant tot l'any.

A diferència del manteniment d'un jardí convencional, en una coberta verda les activitats de manteniment van dirigides a pal·liar les condicions d'estrès en què es desenvolupa la vegetació.

Amb les tasques de manteniment adequades, es pot aconseguir una coberta enjardinada amb una cobertura vegetal exuberant, una perspectiva visual profunda i uns matisos florals durant tot l'any.

01.04 Calendari de manteniment

Una coberta verda no deixa de ser un jardí i, per tant, igual com un jardí convencional, necessita una planificació anual per garantir-ne la supervivència.

A la taula 1 es detallen les tasques principals a dur a terme.

01.05 Conclusions

El manteniment d'una coberta verda és imprescindible per conservar els beneficis mediambientals. Des del punt de vista de l'eficiència energètica i de la pèrdua d'habitat, una coberta verda morta o mal mantinguda és pit-



Reg manual suplementari segons condicions climàtiques i després de replantació. Foto: Eixverd.



Plaga de cotxinilla identificada en una visita de manteniment. Foto: Eixverd.



Situació de poda necessària per donar espai a cada planta per desenvolupar-se. Foto: Eixverd.

or que un acabament tradicional. El cost de manteniment és un aspecte que el propietari hauria d'incorporar en les despeses globals de la implantació de la coberta.

S'ha de confiar el manteniment de la coberta verda a personal especialitzat en aquestes infraestructures, donada l'especificitat dels conceptes que es troben en una coberta verda i que no es troben en una jardineria tradicional.

Autoria



Lidia Calvo Garcia

Enginyera Industrial. Eixverd
lidia@eixverd.cat

02. Façanes verdes

02.01 Introducció

Sense cap mena de dubte, la jardineria aplicada als paraments verticals és una les línies d'evolució de les anomenades NBS (solucions basades en la natura), que estan en clara expansió i representen una eina molt útil de re-naturalització i d'adaptació futura de l'en-

torn urbà al canvi climàtic, que contrasta la limitació inherent d'accés al sòl horitzontal. Aquesta aplicació ha estat a més potenciada per l'atractiu impacte estètic dels actuals jardins verticals de tipus "mur vegetat" (hereus més o menys modificats dels *murs végétaux* de Patrick Blanc).

Abordem en aquest article el manteniment de jardineria vertical i l'aplicació

La jardineria vertical engloba un conjunt de sistemes constructius que per la seva ubicació requereixen manteniment, com qualsevol altra instal·lació de jardineria.

En jardineria vertical, les elevades densitats de plantació contrasten amb la reducció del volum dels medis de cultiu, fets que condicionen la resiliència del sistema (densitat/resiliència).



Jardí Tarradellas, exemple pioner de jardí vertical aplicat a manteniment municipal mitjançant contenidors suspesos. Foto: www.babilon.cat.

urbanística de jardineria vertical a Barcelona com a cas d'estudi.

Històricament, la comercialització del mur vegetat va arrencar al nostre país amb una política de venda sovint poc responsable que els definia aleshores com estructures de "baix manteniment". Anys més tard ha caigut aquest mite, i és definitiu i comprès el fet que la jardineria vertical demana un manteniment com qualsevol altra instal·lació de jardineria. Hem de considerar els enjardinaments verticals com instal·lacions sensibles que, per la seva ubicació, solen estar molt exposades a evapotranspiracions elevades amb una disponibilitat limitada de medi de cultiu. Afegim aquí una característica pròpia dels murs vegetats: el concepte "densitat/resiliència". Consisteix en una densitat de planta molt elevada associada a una disponibilitat de substrat molt acotada. La reducció del volum/disponibilitat de medi de cultiu es condició imprescindible per a la reducció del pes total del sistema i comporta necessàriament limitacions físicoquími-

ques. Aquestes són principalment:

- la limitació de disponibilitat d'aigua (profunditat de camp que ha de ser contrarestada amb una correcta gestió del reg);
- la limitació del nutrient disponible;
- l'ancoratge mecànic dels vegetals amb arrels de poca profunditat i, segons el sistema de cultiu, confinades a la mida de la modulació.

Quant a la densitat de plantació i fent una comparativa amb la jardineria tradicional, ens trobem amb marcs de plantació que estranyament baixaran de 36 unitats/m². Sol ser habitual un marc aproximat de 49 unitats/m², mentre que en jardineria tradicional no són habitual marcs de plantació superiors a 25 unitats/m² en planta-

cions d'espècies anuals, com ara flor de temporada, etc.

Sumant aquestes característiques, podríem definir els jardins verticals, i especialment els "murs verds", com estructures de baixa resiliència que poden acusar especialment les carencies hídriques i/o nutricionals. La seva implantació, a més, sol estar associada a costos elevats i, per tant, les dinàmiques de manteniment han de ser ben definides des de l'inici per evitar fracassos d'alta repercussió econòmica.

Per aquest motiu, amb perspectiva de ciutat, és sovint recomanable l'ús combinat dels murs verds amb altres tècniques d'aplicació més tradicional que, combinant enfiladisses i contenidors suspesos, redueixen despeses i en simplifiquen la gestió.

Aquestes qualitats són d'obligada comprensió quan volem incorporar la implantació de jardins verticals a escala d'infraestructura urbana i assolir la viabilitat del seu manteniment, tot assegurant dinàmiques que permetin la incorporació d'aquestes tasques als serveis municipalitzats. Aquests departaments tenen les seves peculiaritats i per poder incorporar-hi amb èxit innovacions en jardins verticals caldrà ser molt curós en els aspectes següents:

- Seguretat i facilitat d'accés al punt de treball

Aquest aspecte ha de ser recollit en el projecte de manera imprescindible, adaptat a les possibilitats de l'indret del jardí vertical, i també adequat als mitjans propis del servei que assumirà les tasques del manteniment futur.



Plaça de les Dones del 36, jardí vertical de gabions de substrat amb utilització de planta C4 i CAM, adaptacions per millorar la resiliència. Foto: www.babilon.cat.

En la gestió urbana, les instal·lacions d'accés fixes associades al jardí vertical (tipus passeres estructurals) són molt pràctiques i redueixen despeses posteriors. En cas d'ubicacions on no és possible la seva viabilitat, cal valorar els mitjans d'elevació de què disposi el servei municipal i preveure la possibilitat d'arribada i emplaçament en cas de ser mitjans de tipus PEMP (plataformes elevadores mòbils de personal).

Altres vies d'accés més tècniques (com per exemple treball vertical o accessos en PEMP específiques no autotransportables) han de ser valorades aquí amb més cura que en el sector privat.

- Aplicació acurada (i ben dimensionada) de la seva tecnificació

La tecnificació de la instal·lació és la gran eina que ens permet contrarestar les característiques de baixa resiliència inherents a la jardineria vertical i ens permeten alhora optimitzar els temps de dedicació sense perdre seguretat d'èxit de desenvolupament del jardí. Ara bé, la tecnificació és també una de les eines de més difícil implantació en els serveis municipalitzats de manteniment de jardineria.

Per això el seu dimensionat i previsió de seguiment torna a ser clau en fase de projecte.

En aspectes de reg, la simplicitat dels sensors emprats i la correcta gestió centralitzada i telegestionada hauria de ser, en un futur no llunyà, l'eina que permetés de forma esquemàtica i simple una gestió municipal de renaturalització en vertical. La línia d'alarmes associades a cabalímetres d'ultrabaix volum, s'estan mostrant avui per avui molt més pràctiques que les associades a sensors que solen requerir per si mateixos calibratges i manteniments específics.

L'altre gran aspecte tecnològic de la jardineria en vertical és l'aplicació de nutrients en els medis de cultiu convencional, fertirrigat o fins i tot hidropònics.

Sense cap mena de dubte, en gestió urbana la simplicitat torna a ser clau d'èxit, i el criteri de cultius sobre substrats convencionals ha de ser prioritzat davant dels cultius hidropònics. Atenció, però, en la seva aplicació en relació amb l'accés, ja que l'evolució física pròpia del substrat convencional (compactació, rentat de fins, etc.) requerirà l'aportació cíclica i revisió de terres. En aquelles instal·lacions de difícil accés, de gran alçada o de lleugeresa obligada, les opcions hidropòniques/fertirrigades poden ser les més adients.

- Potenciació de la resiliència per selecció botànica

Aquí hi ha dos aspectes de gran utilitat: l'ús d'espècies tipus C4 i CAM millorarà la nostra adaptació i durabilitat en moments d'eventuals mancances de reg. En segon punt, és molt aconsellable en el disseny de murs vegetats la incorporació de espècies de fàcil esqueixat, que permetin la reposició en visites ordinàries de manteniment.

02.02 Gestió a la ciutat de Barcelona

Posant ara el focus en l'aplicació a escala municipal a Barcelona de la jardineria vertical, definim aquí tres eixos que es solapen en evolució i importància:

1– La combinació de les diferents tècniques d'enjardinament vertical: combinació de murs verds i/o solucions tecnificades amb especial atenció als usos tradicionals d'enfiladisses i plantació en pla horitzontal (ja sigui en sòl o en contenidors més o menys tecnificats). En aquesta línia, són definitòries les actuacions inicials del jardí Tarradellas o "jardí del Sol, on es plantegen les actuacions de gran format amb reper-

ció de paisatge urbà que defugen les aplicacions de *murs végétaux*; amb aquesta línia s'assoleix una infraestructura urbana d'enjardinament vertical amb amplitud de mires en incorporació de biodiversitat (avifauna, etc.) i s'hi incorporen la combinació de usos (fotovoltaics, etc.).

S'assoleix l'objectiu principal d'incorporar costos i dinàmiques de manteniment assumibles i perdurables en el temps.

L'accessibilitat per al manteniment, l'aplicació de tecnologia per al control preventiu i l'elecció de les espècies adequades per a cada projecte són aspectes fonamentals per a un bon manteniment en jardineria vertical.

Aquesta línia de treball, però, no descarta l'aplicació de les noves tècniques de jardineria vertical que estan en evolució en el mercat dels murs verds i es fa una comparativa aplicada en el temps de diferents tècniques constructives. En aquesta línia podríem trobar diferents aplicacions de gabions de substrat convencional (obres com el pont de Sarajevo les cotxeres de l'avinguda de l'Estatut) i diferents aplicacions confinades de substrats tecnificats (plaça del Padró o plaça dels Drets dels infants).

Mantenint la línia d'evolució, s'han dut a terme obres d'aplicació hidropònica aplicades tant en façanes d'enfiladissa (poliesportiu Turó de la Peira) o en mur verd (jardí Lope de Vega). En aquesta línia, destaca a Barcelona la manca de jardins de base tèxtil amb manteniment municipalitzat tan emprats en altres indrets. Val a dir que els costos i

dinàmiques de manteniment propis de la primera generació de Patrick Blanc justifiquen la raó d'aquesta carència, si bé les diferents evolucions de la tècnica constructiva de base tèxtil ens situen en l'actualitat en un altre escenari.

En una segona fase de pla de mitgeres, es consoliden les actuacions de grans contenidors com el cas del jardí del Sol (plaça Tísner/BTV), les aplicacions en gabions (plaça de les Dones del 36) i les combinacions de enfiladissa sobre suport (carrer Aragó, rambla Badal, Vilamarí, etc.).

2- L'aplicació de coneixement botànic i acurada selecció d'espècies cada cop amb més recorregut i experiència per al seu ús en vertical.

Algunes de les estratègies abans citades ja han estat aplicades a la plaça de les Dones del 36 o a la deixalleria del Besòs, com a exemple d'ús de plantes CAM i en CC Joan Oliver en estratègia de fàcil esqueixat.

3- L'aplicació i evolució pròpia de la tècnica, associada a compensar els riscos de la baixa resiliència, com per exemple alarmes telegestionades de maneig de reg.

Aquest darrer punt és actualment una de les vies evolutives en revisió. Ja ha estat emprat amb èxit en aquelles instal·lacions on l'escomesa del jardí vertical és independent (entre d'altres el jardí Tarradellas o la plaça Lope de Vega), però la seva aplicació és de més difícil aplicació en aquells regs que són compartits dins d'instal·lacions més grans.

En general, en la gestió municipal és imprescindible la unificació de criteris en instal·lacions tan sensibles i àmplies com el reg de ciutat i, per tant, l'aplicació d'aquestes solucions a instal·lacions preexistents ha de ser aplicada amb la cura i la previsió necessària.

Val a dir que, pel que fa a l'Estat espa-



Poliesportiu Turó de la Peira, aplicació d'hidroponia a façana de gran format. Foto: www.babilon.cat.

nyol, Barcelona és sense cap mena de dubte la punta de llança en l'aplicació de aquesta mena de solucions des de l'enfocament municipal, ja que va iniciar l'aplicació de la jardineria vertical com a solució a escala de ciutat amb el desenvolupament del Pla de mitgeres promogut per l'Institut Municipal del Paisatge Urbà (IMPU), iniciat amb el jardí Tarradellas el 2011, Pla de mitgeres 2016-2017 i 2020-2021.

El 2022, el Departament de Parcs i Jardins ha assumit una coordinació del manteniment de la jardineria vertical amb una direcció interna de l'Ajuntament i un reforç amb l'externalització del servei amb un preu final després d'impostos en concurs de 46,57 €/m²/any.

Altres ciutats espanyoles, com ara Valladolid, Santander, Bilbao o Vitòria, també contemplen algunes obres emblemàtiques, i també València, on a més s'han fet i monitoritzat proves pilot. El pla a Madrid (Madrid + Natural) està assentant les bases per a futures aplicacions de solucions basades en la natura a la capital espanyola, on ja podem trobar obres icòniques com CaixaForum Madrid.

Autoria



Dani Lacueva Falcó

Gerent de Jardineria Artística
Babilon, SL
babilon@babilon.cat

NOUS PRODUCTES

La producció de mantes de sedum i de substrats per a cobertes verdes

01. L'ús de mantes vegetals en la instal·lació de les cobertes verdes extensives

01. 01 Introducció.

L'aplicació d'una solució instantània de cobertura vegetal per a les cobertes verdes sorgeix davant la necessitat

d'oferir un producte acabat al client final.

De la mateixa manera que els pans de gespa (*tepes*) s'han acabat imposant a l'ús de sembra de llavors per a la construcció de zones esportives (camps de futbol, pistes de tennis), on la qualitat i la rapidesa d'instal·lació són factors importants a tenir en compte, a

les cobertes verdes també s'han prioritzat algun d'aquests criteris, sobretot en les extensives, les lleugeres o les de grans superfícies.

Per evitar riscos com ara la pèrdua de substrat per l'acció del vent o de la pluja, l'aparició d'herbes aportades per via aèria a les zones sense cobertura, l'afectació de la calor sobre el substrat, i, per tant, a la coberta, o la necessitat d'un reg regular per garantir el desenvolupament de les plantes, s'imposa una solució instantània. Tots aquests riscos es poden evitar amb la instal·lació d'una manta vegetal precultivada al viver.



Coberta vegetal extensiva al 22@ de Barcelona. Foto: Toni Arnich.



Solució verda instantània en una coberta inclinada. Foto: Sempergreen.

No podem convertir el terrat del client en un viver. Són els vivers els que poden oferir al mercat un producte acabat de màxima qualitat, segons els seus coneixements agronòmics, i cultivat en condicions adequades.

L'accés a la coberta moltes vegades no és senzill, com tampoc no ho és la col·locació dels materials, així que, un cop s'inicien els treballs, cal aproximar-nos al màxim al resultat esperat, sense dependre excessivament del fet que, amb el temps, el creixement de les plantes acabi oferint tots els avantatges que dona una coberta verda.

01.02 Antecedents del cultiu i situació actual. Zones de producció

Els inicis es remunten a l'any 1996 quan el viverista Corné van Garderen va començar el cultiu de mantes vegetals de *sedum* a prop d'Utrecht, als Països Baixos. Des de llavors, la producció i comercialització s'ha ampliat a l'oest d'Europa, principalment. Actualment, la superfície de cultiu de mantes vegetals ha augmentat fins a més de 200 hectàrees a la regió del Benelux.

La producció de pans de *sedum* ha anat sempre lligada a la demanda de cobertes verdes extensives. La producció i comercialització depenen principalment de la implantació de mesures com ara l'aplicació de solucions d'infraestructures verdes urbanes en grans ciutats.

Després d'aquest nucli inicial tan important, la producció s'ha estès als països on les cobertes verdes han tingut, des de fa anys, suport governamental i legislatiu que ha provocat l'aparició d'un mercat lligat a la seva instal·lació en zones urbanes, començant pels productors fins als instal·ladors professionals especialitzats, anomenats *roofers*. Aquests països són Alemanya, França, el Regne Unit, Bèlgica i els Països Baixos. Moltes d'aquestes empreses europees han expandit la seva activitat a altres països, paral·lelament al desenvolupament del mercat. Així, des de ja fa més d'una dècada, es cultiven pans de *sedum* per a cobertes verdes als Estats Units, Colòmbia, la Xina o Polònia. Recentment, s'han instal·lat nous viviers de cultiu a altres parts del món que demostren el fort creixement

que les cobertes verdes estan tenint arreu, com a Austràlia i Israel, per posar alguns exemples.

Fa quinze anys, una empresa holandesa va iniciar la producció de pans de *sedum* al sud d'Europa instal·lant un viver a la zona de Tarragona a fi de subministrar un producte local al mercat de la península Ibèrica i sud del Mediterrani. Actualment, també trobem empreses franceses i alemanyes que subministren pans d'herba vegetals a través de les seves filials espanyoles.

01.03 Les mantes o pans d'herba vegetals de *sedum*

Segons els diferents actors que instal·

len el producte, el terme correcte en català és 'pans o panots de *sedum*' a partir de la nomenclatura correcta que cal utilitzar per al mateix format en graminies, on parlem de 'pans de gespa'. Malgrat els intents de normalitzar-ne la denominació, s'ha generalitzat l'ús del terme 'tepe de *sedum*', com també passa amb el 'tepe de gespa'.

Els pans de *sedum* estan fets a partir de diferents capes o elements cadascun dels quals té una funció específica en el producte final.

- Làmina de fibra teixida
Atès que el *sedum* és una planta amb poc volum radicular, per si sola no és capaç de crear prou estruc-



Pa de *sedum* preparat per al transport. Viver de Cambrils. Foto: Toni Amich.



Infraestructura verda urbana. Foto: Sempergreen.

tura per suportar el format en forma de manta, com sí que ho fan les gramínies, on el sistema radicular acaba sent el suport del pa d'herba mateix. En aquest cas, cal afegir una capa estructural que permeti el format en rotlles. Aquesta capa acostuma a ser feta a partir d'una làmina o xarxa de fibra de coco teixida. Actualment, també s'han provat i produït pans d'herba amb altres materials, sense que de moment tinguin una presència important en el mercat.

- Capa de substrat

Al damunt d'aquesta capa de fibra de coco, trobem un petit gruix de substrat que actua com a medi de cultiu.

- Llavors de *sedum*

A la capa de substrat, se sembra la barreja de les diferents varietats de *sedum*, seleccionades pel productor segons recepta pròpia.

També es cultiven pans de *sedum* a partir de la sembra d'esqueixos de varietats gràcies a l'alta capacitat d'arrelament d'aquesta planta. La capacitat de producció d'esqueixos a partir de planta mare i la densitat que se'n necessita fan que aquest sistema de cultiu sigui menys emprat respecte de la sembra amb llavor.

Un factor també a tenir en compte és el temps de cultiu. La producció de pans de *sedum* a partir de llavor

s'allarga fins a quasi un any o més de creixement per poder emprar el producte. Els materials utilitzats cal que garanteixin i mantinguin les seves propietats durant tot aquest període de cultiu a l'exterior, sota condicions climàtiques molt variables, per poder ser paletitzat a fi de fer-ne el transport i lliurament.

01.04 El cultiu dels pans de *sedum*.

Fases de cultiu

El cultiu es duu a terme al damunt d'una làmina o teixit permeable i no directament al sòl com ho fariem amb altres espècies. Aquesta pràctica és deu a la necessitat que les plantes arrelin damunt de la làmina de suport i concentrin el seu senzill sistema radicular en aquesta fina capa d'1 o 2 cm de substrat. Així doncs, el procés productiu comença per col·locar aquesta làmina permeable i resistent a les arrels damunt d'un terra perfectament anivellat.

El segon pas és la col·locació de les diferents capes del pa, de manera consecutiva, començant per la làmina teixida de suport i la fina capa de substrat i acabant amb la sembra de la planta bé amb llavors o amb esqueix o amb una combinació d'ambdues.

Actualment, totes aquestes operacions que tradicionalment s'havien fet de manera seqüencial i amb mitjans manuals s'executen amb maquinària especialitzada, capaç de col·locar totes les capes simultàniament al camp.

Un cop s'han col·locat tots els elements, comença el període de cultiu pròpiament dit, que es pot allargar quasi un any segons l'època en què s'hagi efectuat la sembra. Durant el temps de cultiu, tenim una primera fase de germinació on cal protegir els pans amb una malla d'ombreig per garantir-ne les condicions òptimes de germinació.



Germinació del *Sedum*. Foto: Toni Amich.



Paletitzat dels pans de *sedum*. Foto: Toni Amich.

La segona fase és el creixement de la planta.

La fase final seria la collita on es tallen les mantes segons la mida del format que comercialitza el viver i es paletitzen per transportar-les. Majoritàriament, se subministren en forma de rotlles, d'una mida i pes que els faci adequats per al seu transport i manipulació. Cal tenir en compte que aquests rotlles quasi sempre s'han d'eleva mitjançant una grua i repartir, desenrotllar i plantar de manera manual per tota la coberta.

La millora de la biodiversitat en entorns urbans és un objectiu prioritari per a Europa. La implantació i generalització de mesures com ara les cobertes verdes fan necessària la instal·lació de productes complets, adaptats a l'entorn, instantanis i econòmics com ara els pans precultivats de *sedum* en les seves variants biodiverses.

01. 05 Altres formats

Mòduls precultivats de *sedum*. Les safates o *sedumTrays*

Paral·lelament al cultiu dels pans de *sedum*, també s'ha desenvolupat el cultiu d'altres solucions instantànies per a cobertes verdes. El producte que ha anat més lligat als pans és el cultiu del *sedum* en un contenidor o safata que constitueix el mateix recipient de cultiu, creixement i empaquetat per a la seva comercialització. Un producte dissenyat perquè inclogui les diferents capes que formen la coberta verda en un sol element.



Coberta verda biodiversa. Foto: Sempergreen.

D'aquesta manera, aquestes safates anomenades *trays* es poden col·locar directament sobre la coberta de l'edifici un cop impermeabilitzat o preferentment damunt d'una tela de protecció per evitar que el treball d'instal·lació dels mòduls ocasioni danys a la coberta.

La facilitat de col·locació i la simplicitat del producte fan que sigui un cultiu força estès, tot i que en un nombre d'hectàrees molt menor al dels pans i sempre comercialitzat pels mateixos vivers productors de pans d'herba vegetals.

La comercialització s'ha orientat molt més al client final per la facilitat de col·locació. La falta d'un model estàndard fa que hi hagi diferents formats de mòduls, ja que cada viver ha desenvolupat un producte propi per fer-lo més adequat, segons el seu criteri, a les necessitats climàtiques de la zona o l'interès del client final. Se'n cultiven de més lleugers, pesants, grossos o de diferents materials, segons quina sigui la característica de més valor del format, com ara la capacitat de retenció d'aigua, la resistència a altes temperatures o la facilitat de transport i col·locació.

Les mantes vegetals biodiverses

La creixent pèrdua de biodiversitat a les ciutats i la voluntat d'intentar rever-

tir aquesta problemàtica aplicant mesures com ara les cobertes verdes han afavorit l'aparició d'una nova variant de pans d'herba que parteix del mateix format inicial de vegetació amb *sedum* i incorpora altres plantes.

Es produeixen pans de *sedum* amb una barreja de flors silvestres; amb herbes i gramínies, o amb flors que afavoreixen els insectes pol·linitzadors. Els pans de *sedum* biodiversos esdevenen excel·lents hàbitats per a insectes, ocells i petits mamífers.

La implantació de cobertes verdes a les ciutats no només millora el confort i la qualitat ambiental de la ciutadania, sinó que també afavoreix l'augment de la biodiversitat en entorns urbans.

Possiblement, aquest format de pa de *sedum* combinat amb altres tipus de vegetació que afavoreix la biodiversitat de la coberta verda sigui el que tingui un futur més prometedor pel que fa a la producció i comercialització.

Autoria



Toni Amich Llacuna

CEO Sempergreen

t.amich@sempergreen.com

02. Substrats per a cobertes verdes a Catalunya

02.01 Introducció

Un substrat és un suport diferent a un sòl natural, on les plantes poden desenvolupar-se gràcies que satisfà les seves necessitats de retenció d'aigua, aeració i nutrició. Els substrats es dissenyen segons l'espai on volem que creixin les plantes. Podem tenir substrats pensats per a germinació de llavor en alvèols, per al creixement de planta en contenidors petits o grans, per al cultiu en canals d'hidroponia, per a la vegetació de façanes verticals o per a la plantació de grans superfícies planes com ara les cobertes verdes.

02.02 Breu història dels substrats a Catalunya

L'auge dels substrats per a horticultura ornamental a Catalunya, el podem establir a partir dels anys 1970-1980. Els floricultors del Maresme van començar

a cultivar clavell i planta ornamental en test a causa d'un descens en el rendiment del cultiu del clavell en el sòl.

En aquella època, els horticultors elaboraven receptes pròpies com a substrats mesclant in situ diferents matèries primeres, sorra, fens, roldó (escorça de pi triturada i compostada), terra de bosc o podrit de castanyer que anaven a arreplegar a bosc.

En la dècada dels vuitanta, apareixen les primeres empreses com ara Oleguer Burés de Sant Boi de Llobregat i Mingu Rastridus d'Osor que comercialitzaven els substrats a dojo.

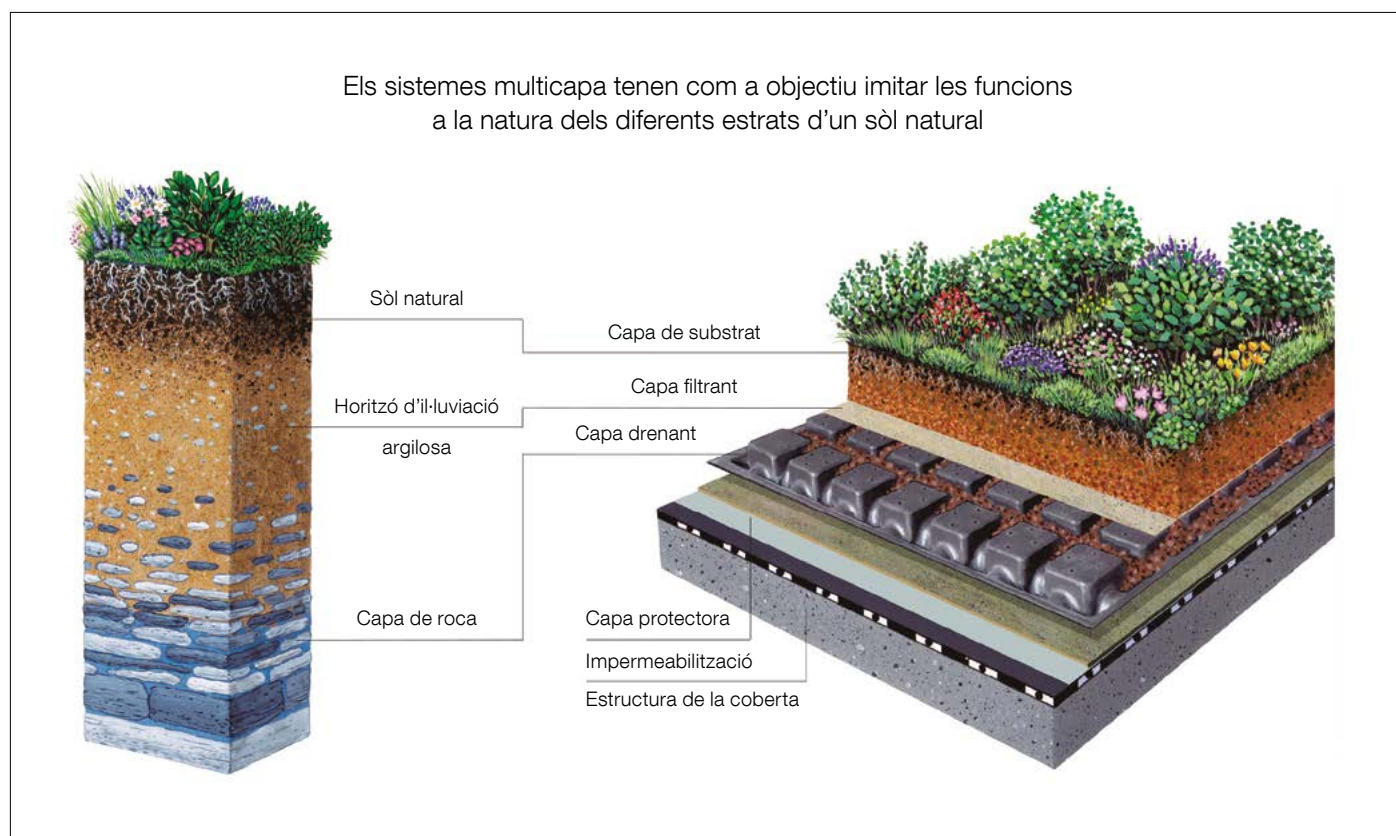
L'any 1986, amb l'entrada a la Unió Europea i la internacionalització del transport terrestre, es generalitza l'ús de la torba, importada d'Alemanya i dels països bàltics. La torba rossa de sphagnum disposa d'avantatges respecte dels materials que aleshores s'empraven en el cultiu en contenidor a causa de la seva lleugeresa i les propietats

físiques d'aeració i retenció d'aigua.

A partir de 2005, amb l'eliminació de les quotes existents limitadores d'intercanvis comercials entre països, es produeix la globalització del transport marítim. Com a conseqüència, arriba un nou material, la fibra de coco, procedent de països com Sri Lanka. Aquest producte, respecte de la torba, mostra una millor rehidratació i una menor degradació. Avui, aquestes dues matèries prime-

Els substrats es dissenyen segons l'espai on volem que creixin les plantes.

res, torba i fibra de coco, són els principals ingredients dels substrats per a horticultura ornamental. De manera general, el subministrament a professional es fa envasat en bales grosses de capacitat entre 3-6 m³.



Sistemes multicapa. Font: ZinCo.

02.03 Inici dels substrats per a cobertes verdes

Amb l'experiència que es tenia en la fabricació de substrats per a planta ornamental, es formulen els primers substrats per a cobertes verdes amb molta fracció de vegetal i proporcions menors d'altres materials com la perlita i la greda volcànica procedent de França.

En la dècada de 2000, arriben al nostre país les empreses europees capdavanteres en el disseny i la instal·lació de

En la dècada dels anys 2000, arriben al nostre país les empreses europees capdavanteres en el disseny i la instal·lació de cobertes verdes.

Les cobertes verdes són una solució sostenible que ofereix beneficis tant per al medi ambient com per a la salut humana.

de cobertes verdes, i gràcies a la seva experiència es desenvolupen substrats adaptats al sistema constructiu de coberta verda de multicapa.

Avui, els preparadors de substrats per a cobertes verdes cerquem materials alternatius i amb una empremta ecològica menor com ara subproductes de la fabricació de ceràmica, materials de recuperació de la construcció, graves de proximitat per disminuir el consum de greda volcànica, fibra de coco i compost vegetal de qualitat que pugui suplir la torba rossa.

02.04 Tipologia de substrat

La guia FLL 2018 classifica els substrats per a cobertes en 6 categories: sistema intensiu per a gespa, en una capa o multicapa, sistema intensiu, excepte gespa, en una capa o multicapa, i sistema extensiu, en una capa o multicapa.

A Catalunya, treballem principalment el sistema multicapa amb 2 tipus de substrat: cobertes intensives i cobertes extensives. Les cobertes intensives tenen major quantitat de substrat, cosa que permet el creixement d'una gamma major de plantes, inclosos arbus-

tos i arbres. Les cobertes extensives tenen un espessor de substrat menor i estan dissenyades per suportar plantes més resistents i de baix manteniment com ara sedums i gramínies.

Beneficis de les cobertes verdes

Estudis científics han demostrat que les cobertes verdes poden millorar la qualitat de l'aire en filtrar contaminants i reduir la quantitat de diòxid de carboni a l'atmosfera (Berardi, 2015). Redueixen l'efecte "illa de calor urbana" en disminuir la temperatura en la superfície de coberta d'un edifici (Yang et al., 2018). També poden reduir el consum d'energia en un edifici en actuar com a aïllament, cosa que redueix el consum d'aire condicionat a l'estiu i de calefacció a l'hivern (Van Bohemen et al., 2017). Les cobertes verdes proporcionen espais verds i hàbitats per a la fauna i flora locals i milloren la qualitat de vida en les ciutats (Williams et al., 2014).

04.02 Característiques dels substrats de cobertes verdes

Les característiques desitjades en un substrat de cobertes verdes són molt diferents que en altres usos, especialment en els substrats de cobertes



Tromel. Foto: Bruc Jardí, SLU.



Substrat coberta. Foto: Solucions EixVerd, SLU.

extensives. Els principals requisits són els següents:

- Baix pes. El substrat ha de tenir un pes lleuger per evitar carregar en excés l'estructura de la coberta. Densitat aparent compactada entre 900-1.100 kg/m³.
- Mínima compactabilitat. Se cerca evitar que el substrat es compacti per permetre un bon drenatge i l'aeració de les arrels de les plantes.
- Alta permeabilitat. És important que el substrat permeti el pas d'aigua per evitar embassaments i afavorir el drenatge.
- Retenció i detenció d'aigua. El substrat ha de retenir l'aigua necessària per cobrir les necessitats de les plantes. També es valora la capacitat de detenció de l'aigua, percentatge de reducció d'escorrentia després de 5 minuts, en comparació al pic de pluja en aquest temps, per a una pluviometria superior a 10 mm.
- Comportament a llarg termini. S'espera que el substrat mantingui les característiques i funcionalitat durant un període prolongat. Per això, es recomana evitar un contingut alt en matèria orgànica.

Propietats físiques dels substrats de cobertes

- Distribució granulomètrica. Es me-

sura per tamisat i es calculen les fraccions de mida inferior 0,0063 mm i la fracció major de 4 mm. També es calculen les corbes de distribució acumulada de partícules en l'interval 0-16 mm. En l'anàlisi de la granulometria, és important comptabilitzar totes les partícules del substrat, a diferència de les anàlisis de sòls on es deprecien les partícules superiors a 4 mm.

- Densitat aparent a la màxima capacitat d'aigua. Es compacta una mostra de substrat en un cilindre perforat, se satura per immersió en aigua durant 24 hores i després es deixa drenar lliurement durant 2 hores. Es determina la densitat aparent en aquest estat.
- Densitat aparent seca. La mostra se seca a 105° C per obtenir el contingut gravimètric d'aigua.
- Màxima capacitat d'aigua. Es determina mitjançant la diferència entre la densitat aparent a la màxima capacitat d'aigua i la densitat aparent seca.
- Retenció d'aigua a pF 1,8 (60 cm columna d'aigua o 6,3 kPa). Es determina en un llit de sorra segons el mètode UNE-EN 13041.
- Conductivitat hidràulica en saturació. Es mesura el temps que triga el nivell d'aigua sobre la mostra saturada i en drenatge lliure a baixar de 45 a 35 mm.

Els principals paràmetres agronòmics estan definits en les Normes tecnològiques per a cobertes verdes (NTJ-11 C), en la guia FLL 2018 - Green Roof Guidelines i en les normes UNE-EN.

- Densitat de partícula. Es calcula a partir del contingut de matèria orgànica i cendres, que es determinen mitjançant la calcinació de la mostra.
- Porositat total. S'aconsegueix a partir de la densitat de partícula i la densitat aparent.
- Contingut de matèria orgànica. En general, el contingut orgànic ha de ser 20-30% volum/volum. Quan les plantes estan establertes, en un sistema de coberta verda estable i saludable, el contingut de matèria orgànica desitjat estaria entre 2-5% en pes.
- Valors de pH. Interval òptim entre 7,5 - 8,5.

02.05 El mercat de les cobertes verdes

A partir de l'any 2021, es produeix un creixement important del mercat de les cobertes verdes, tot i que està molt concentrat en la ciutat de Barcelona i àrea metropolitana, concretament en barris d'expansió urbanística com el Barcelona 22@. També mostren interès per aquest sistema constructiu les noves edificacions per a oficines i els cellers, hotels, centres comercials i organismes públics.

Parlem d'un mercat a Catalunya d'uns 25.000-30.000 m²/any de superfície de coberta verda, on la part dels substrats pot representar un valor econòmic inferior al milió d'euros. I el subministrament a industrials es reparteix en 5-6 empreses proveïdores de substrats per a cobertes.

	Unitat	Intensives	Extensives
Mida de partícula < 0,063 mm	(% p/p)	< 20	< 15
Mida de partícula > 4 mm	(% p/p)	< 40	< 50
Màxima capacitat de retenció d'aigua	(% v/v)	45 - 65	35 - 65
Aeració a màxima capacitat d'aigua	(% v/v)	> 10	>10
Aeració a pK 1,8	(% v/v)	≥ 20	≥ 20
Permeabilitat a l'aigua	mm/min	0,3-30	0,6-70
Contingut en matèria orgànica	(% g/l)	< 90	< 65

Taula 1. Característiques dels substrats d'acord amb el mètode d'anàlisi FLL (2018). Font: elaboració pròpia d'acord FLL 2018 i NTJ C: 2012

És un mercat petit però en creixement.

02.06 Conclusions

Els aspectes ambientals, la selecció de matèries primeres de proximitat, l'adaptació dels substrats i la selecció de planta a les condicions climàtiques locals centren el desenvolupament d'aquest tipus de substrats. Les empreses líders del mercat ja disposen de declaracions ambientals de producte (DA).

Els aspectes ambientals, la selecció de matèries primeres de proximitat, l'adaptació dels substrats i la selecció de planta a les condicions climàtiques locals centren el desenvolupament d'aquest tipus de substrats.

Actualment, hi ha un interès per la recerca d'alternatives a la torba, ja que és un recurs no renovable. El Regne Unit disposa d'un pla per a l'abandonament d'aquesta matèria primera: l'objectiu és eliminar la torba del mercat aficionat a partir de 2025 i de l'horticultura professional en 2030.

En edificació, es valoren les certificacions de construcció sostenible. Les més importants a Catalunya són BREEAM i LEED. Hi ha un interès en materials i sistemes constructius que aportin punts per obtenir aquestes homologacions.

Per a un creixement sostingut del sector, cal que la feina es faci ben feta; no val una terra vegetal com a substrat tècnic de cobertes verdes. Les característiques del substrat de cobertes s'han de definir des de la prescripció, de la mateixa manera que en projectes d'edificació es defineixen els materials de construcció. Caldria un esforç per normalitzar la definició tècnica del substrat perquè tots els agents involucrats en el sector de l'edificació sostenible prenguin consciència sobre la importància d'aquest material en l'èxit de les cobertes verdes.

Per saber-ne més

BADOSA CASGANY, R. (1982). L'horticultura intensiva: cultius hortícoles sota hivernacle. Atzavara, L', Vol. 4, p. 10-13.

BERARDI, U. (2015). Urban agriculture and green roofs as elements of sustainable urban development. Sustainability, 7(12), 15571-15592.

FLL 2018 - Green Roof Guidelines - Guidelines for the Planning, Construc-

tion and Maintenance of Green Roofs
NTJ 11C: 2012 - Cobertes Verdes. Fundació de la Jardineria i el Paisatge

UNE-EN 13041 - Determinación de las propiedades físicas: densidad aparente seca, volumen de aire, volumen de agua, valor de contracción y porosidad total. VAN BOHEMEN, H. D., VANDE VEN, F. H., VAN DER VOORDEN, M., & KLEEREKOPER, L. (2017). Energy performance of green roofs in the Netherlands. Building and Environment, 119, 152-161.

WILLIAMS, N. S., LUNDHOLM, J. T., & MACLVOR, J. S. (2014). Do green roofs help urban biodiversity conservation? Journal of Applied Ecology, 51(6), 1643-1649.

YANG, J., SUN, J., GE, Q., LI, X. (2017). Assessing the impacts of urbanization-associated green space on urban land surface temperature: a case study of Dalian. China. Urban For. Urban Green. 22, 1e10.

Autoria



Joan Soler Fraile

Enginyer Tècnic Agrícola
Direcció tècnica a Bruc Jardí
jsoler@brucjardi.com



Parlem amb: CRISTINA MATOS SILVA

Cristina Matos Silva es va llicenciar en Enginyeria Civil el 2000 a l'IST/UL. Entre el 2000 i el 2002 va treballar com a enginyera d'estructures i va adquirir experiència en el disseny d'estructures de formigó armat, estructures d'acer i construccions de fusta. El 2006 va acabar el doctorat en Enginyeria Civil, en què va aprofitar els coneixements i l'experiència que havia adquirit com a enginyera de projectes. Des del 2007 és professora adjunta a l'IST/UL, on imparteix cursos de Física de la Construcció, Instal·lacions Constructives i Solucions Basades en la Natura. Els seus interessos de recerca se centren en la sostenibilitat en la construcció, concretament en les cobertes verdes i els murs vius, la seva avaluació econòmica i la planificació urbana associada, el rendiment tèrmic i acústic, i la planificació del manteniment en un clima mediterrani. També avalua l'eficiència dels sistemes de recollida d'aigües pluvials, tant a escala urbana com dels edificis i quan es combinen amb solucions de cobertes verdes. És fundadora de l'Associació Portuguesa de Cobertes Verdes i membre de la Federació Europea d'Associacions de Cobertes Verdes.

Podeu explicar breument la recerca que esteu duent a terme i el vostre grup de recerca?

Des del 2007 soc professora adjunta de l'Institut Superior Tècnic de la Universitat de Lisboa, on imparteixo cursos de Física de la Construcció, Instal·lacions Constructives i Solucions Basades en la Natura. Així, doncs, els meus interessos de recerca se centren en la millora del rendiment dels edificis, concretament per mitjà de solucions basades en la natura. Soc cofundadora del grup de recerca GI (<http://gigroup.tecnico.ulisboa.pt/PHP/about.php>), del Centre de Recerca d'Enginyeria Civil i Innovació per a la Sostenibilitat (CERIS) i inclou un equip multidisciplinari amb experiència en la valoració dels costos i els beneficis de les cobertes i els murs verds i en l'elaboració d'una anàlisi cost-benefici acurada del cicle de vida. Les àrees de recerca principals del Grup GI són l'anàlisi econòmica d'aquestes infraestructures verdes, la comparació de solucions alternatives, la planificació del manteniment, la quantificació de beneficis (per exemple, tractament d'aigües, rendiment tèrmic i recollida d'aigües pluvials) i l'aplicabilitat a diferents infraestructures (per exemple, edificis públics, edificis privats, infraestructures de transport).

Com a enginyera de camins, què us va portar a treballar en infraestructures verdes i solucions basades en la natura?

La passió! És a dir, crec que la natura s'ha d'incloure a les ciutats i en la planificació urbana per ajudar a augmentar la resiliència i millorar la sostenibilitat. Per això, les solucions basades en la natura són la resposta clau.

Com que soc enginyera civil i treballo en envoltants d'edificis, les cobertes i els murs verds són les solucions que investigo diàriament, intentant optimitzar-les i avaluar-ne el rendiment, sobretot en el clima mediterrani, que actualment s'enfronta a nombrosos reptes.

Com poden contribuir les solucions basades en la natura i la infraestructura verda urbana a la millora del medi ambient urbà?

És ben sabut que la infraestructura verda en els edificis, tant en els nous com en els ja existents, és molt important per crear territoris urbans saludables, sostenibles, biodiversos i resilents. De fet, l'ús de la natura a les ciutats és un aspecte clau per fer front als problemes urbans i abordar els objectius de desenvolupament sostenible.

Formo part de la junta de l'Associació Portuguesa de Cobertes Verdes (ANCV) i convido tothom a fer una ullada al nostre lloc web (<https://www.greenroofs.pt/en/>) que explica en detall com la infraestructura verda urbana pot millorar el medi ambient de les ciutats. La natura pot aju-

dar a afrontar problemes mediambientals, socials i també econòmics, com la contaminació, la pèrdua de biodiversitat, els índexs d'impermeabilització del sòl o els fenòmens d'onades de calor i precipitacions extremes, que s'han agreujat en els darrers anys. Les solucions basades en la natura i les infraestructures verdes urbanes ajuden a retenir l'aigua de la pluja, contribueixen a endarrerir els pics d'inundació, a protegir i augmentar la vida útil de la impermeabilització, a crear nínxols de biodiversitat, captura de CO₂ i producció d'oxigen, com també a millorar el benestar general i el paisatge urbà. Així, les ciutats modernes estan introduint la natura com a part de la seva estratègia mediambiental, i la vegetació als edificis és ara obligatòria a moltes ciutats, com Copenhaguen, i està sent promoguda per nombrosos governs d'arreu del món. Aquí podeu trobar una descripció detallada de les estratègies/polítiques de cobertes i murs verds d'arreu del món: <https://www.greenroofs.pt/en/policy-map>.

Les cobertes/murs verds no funcionen de la mateixa manera a tot el món i cal adaptar les solucions.

Com s'aborden aquests reptes des de l'àmbit de la recerca? Ens podeu parlar dels vostres projectes de recerca actuals?

Quan vaig començar a investigar en aquest camp, el primer que vaig fer va ser avaluar el rendiment de les cobertes i els murs verds en el clima mediterrani, com ara el

rendiment tèrmic o les necessitats de manteniment i reg. Això és important perquè les cobertes/murs verds no funcionen de la mateixa manera a tot el món i cal adaptar les solucions. Tanmateix, si volem que la nostra recerca doni resposta als problemes urbans i contribueixi a la inclusió de solucions basades en la natura en la planificació urbana, hem d'avaluar aquestes solucions constructives a escala mundial.

Així, doncs, després vaig treballar en l'avaluació econòmica d'aquestes solucions, tenint en compte un enfocament holístic, que inclogués tots els serveis i costos de les cobertes/murs verds en un període de temps determinat. L'anàlisi multicriteri també és molt important en aquests casos, ja que les diferents parts interessades poden valorar els beneficis de manera diferent.

Aquesta anàlisi cost-benefici és molt important per promoure, conjuntament amb el govern i els municipis, l'ús de cobertes/murs verds com a part de les estratègies mediambientals i també per predir les polítiques adequades. Aquest és l'àmbit de recerca al qual em dedico ara.

A més, l'avaluació econòmica també és important per evidenciar quins són els serveis ecosistèmics de les cobertes/murs verds que s'espera que valorin més aquestes solucions i també per identificar quins són els serveis ecosistèmics d'aquestes solucions dels quals encara no es té informació i que han de ser modelitzats/monitorats.

Per exemple, em vaig adonar que ens falta informació sobre la contribució de les cobertes i els murs verds a la biodiversitat urbana, com a part de la infraestructura ver-



Murs verds interiors i exteriors per al tractament d'aigües grises, a l'Institut Superior Tècnic (IST). Treball en curs amb la professora Ana Galvão, de l'IST.



Cobertes verdes a l'Institut Superior Tècnic (IST), amb materials reciclats i plantes autòctones. Treball en curs amb els professors José Saldanha Matos, Filipa Ferreira i Vítor Sousa, de l'IST.

da de la ciutat, així que ara tinc un projecte sobre aquest tema, el projecte GRAVITY, finançat per l'FCT - Fundació Portuguesa per a la Ciència i la Tecnologia, projecte 2022.02093.PTDC. Podeu visitar <https://www.projectgravity-ist.com/> per saber-ne més.

Per acabar, aquesta avaluació econòmica de les solucions basades en la natura és fonamental per identificar les limitacions dels productes i com ha d'evolucionar la tecnologia per maximitzar el rendiment, l'economia circular i els serveis i alhora minimitzar els costos. En aquesta línia de recerca, ara em centro en l'optimització de solucions constructives tant de cobertes verdes com de murs verds. Estic treballant en un mur verd regat amb aigües grises i per al tractament d'aigües grises (foto 1) i també en cobertes verdes fetes amb materials reciclats (com a part del substrat) i plantes autòctones (foto 2).

Creieu que les cobertes i les façanes verdes són realment "la solució miraculosa"?

Crec que les cobertes i les façanes verdes s'haurien de considerar oportunitats per reverdir la infraestructura grisa dels edificis i utilitzar-se per garantir la connectivitat de la infraestructura verda a les ciutats. No es pot esperar que les cobertes/murs verds resolguin tots els problemes de les ciutats, però són solucions crucials que cal incloure com a espais verds urbans complementaris, ja que l'espai urbà és escàs. Per exemple, fins i tot a les ciutats que inverteixen en rehabilitació més que en nova construcció, es poden adoptar algunes solucions de cobertes i murs verds, com una coberta verda sobre un aparcament (normalment una coberta accessible a nivell de carrer), una coberta verda extensa sobre

un edifici existent o una façana verda sobre un mur visible.

Quin paper té la ciència ciutadana en el desenvolupament de sistemes urbans més sostenibles, concretament en la consolidació d'infraestructures verdes?

Veig la ciència ciutadana com una eina molt important, tant per ajudar a desenvolupar sistemes urbans més sostenibles com per ajudar a consolidar l'ús d'infraestructures verdes. En implicar els ciutadans en el seguiment dels beneficis de les infraestructures verdes, aconseguim maximitzar la recollida de dades, vital per aprendre més i optimitzar aquestes solucions, i, alhora, contribuïm a la conscienciació mediambiental dels ciutadans, que també és essencial per assegurar l'acceptació i la difusió àmplia de les cobertes/murs verds en edificis i ciutats.

No es pot esperar que les cobertes/murs verds resolguin tots els problemes de les ciutats, però són solucions crucials que cal incloure com a espais verds urbans complementaris, ja que l'espai urbà és escàs.

El projecte GRAVITY que he esmentat abans adopta la ciència ciutadana i està recopilant una base de dades exhaustiva i sistemàtica de les contribucions de les cobertes/murs verds a la biodiversitat de la ciutat, amb resultats molt interessants fins ara.

