

# Treballs beneficiaris dels ajuts per al suport a la recerca en canvi climàtic a l'AMB

## Coberta experimental

Berta Sarroca Agustí i Anabel Garcia Martínez

Tutora del projecte: Montserrat Bosch, Dra. UPC

RESUM EXECUTIU

## Coberta Experimental

Berta Sarroca Agustí i Anabel Garcia Martínez

## Introducció

Les cobertes vegetals suposen una solució constructiva que pot aportar diferents beneficis als edificis: tèrmiques, acústiques, i/o de gestió de les aigües pluvials. En clau ciutat, també milloren els efectes illa de calor, ajuden al manteniment de certa biodiversitat i poden convertir-se en elements paisatgístics alhora que creen nous espais de convivència de qualitat dins l'entorn urbà.

Amb l'objectiu de realitzar un seguiment al llarg de tot un any del comportament de diferents solucions de coberta verda "in situ", s'ha posat en marxa el projecte de recerca de la "Coberta Experimental Mercè Rodoreda (MR)", edifici ubicat a Barcelona, dins el Campus Ciutadella de la Universitat Pompeu Fabra (UPF) i s'ha convertit aquesta coberta en un veritable "living-lab". El projecte, liderat per l'empresa EIXVERD i sota la direcció de Lidia Calvo (Enginyera Industrial) ha comptat amb la col·laboració de diferents empreses que han proporcionat els materials i han realitzat les instal·lacions de les seves mostres.

Pel que fa a la recerca metodològica, el Grup Interdisciplinari de Ciència i Tecnologia a l'Edificació (GICITED), de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) ha coordinat i dirigit els treballs amb la implicació de diverses investigadores del grup, la participació d'estudiantat del Grau en Arquitectura Tècnica i Edificació, i la col·laboració del Laboratori de Materials de l'Escola Politècnica Superior de l'Edificació de Barcelona (EPSEB-UPC). A més, durant la fase de definició del projecte experimental han participat arquitectes, investigadors de diverses universitats i estudiantat de doctorat, que han aportat els seus coneixements particulars des de diferents branques de la ciència.

Considerem que aquest tipus de col·laboració entre diverses entitats, públiques i privades, i investigadors de formació també diversa enriqueixen els projectes i signifiquen una manera de fer que genera beneficis per a la ciutadania. En aquest sentit volem agrair la iniciativa de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) de recolzar projectes d'investigació ambiental en el camp de l'edificació com el que estem duent a terme.

### 1. L'experiment realitzat

En el cas d'aquest experiment es pretenia comparar el comportament tèrmic i l'escorrentia d'aigua de diferents solucions de coberta verda que responen a les propostes de diferents empreses/fabricants/instal·ladors. També es volien comparar les dificultats i exigències de manteniment de les diferents solucions, ja que aquest paràmetre sovint queda poc especificat a l'hora d'exposar les condicions de contorn de les cobertes enjardinades.

#### 1.1 Disseny de l'experiment

L'experiment s'ha dut a terme a partir de 9 mostres de coberta, disposades sobre l'actual coberta de l'edifici **Mercè Rodoreda 23**, situat en el campus Ciutadella de la Universitat Pompeu Fabra (C/Ramon Trias Fargas, 25-27, 08002, Barcelona). Actualment, l'edifici disposa d'una solució de coberta transitable invertida constituïda per una làmina asfàltica impermeabilitzant i llosetes tipus 'Filtrón' que incorporen una capa d'aïllament tèrmic i una capa d'acabat final.

Donat que interessava aïllar les diferents mostres a assajar entre elles i dels elements comuns com poden ser el sostre de planta sotacoberta, es va proposar la construcció de 9 parterres (un per a cada proposta) aïllats en tot el seu perímetre i per sota (Fig. 1).

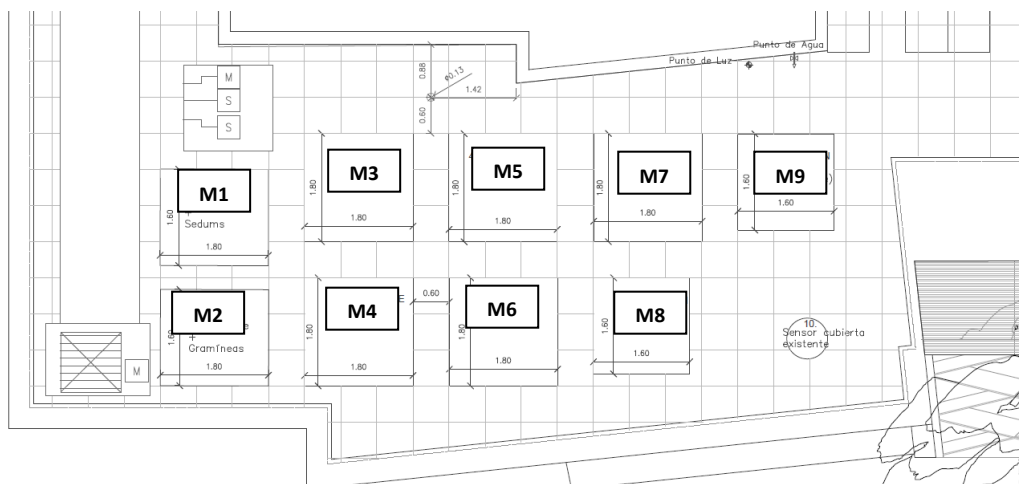


Fig. 1 Distribució dels parterres/jardineres amb cadascuna de les solucions de coberta enjardinada instal·lades

La distribució de les mostres s'ha fet verificant, mitjançant modelització amb el programa REVIT, que totes es trobessin sota les mateixes condicions d'incidència solar al llarg del cicle anual, per la qual cosa aquest fet no hauria d'interferir en la comparativa dels resultats (Figs. 2 i 3).

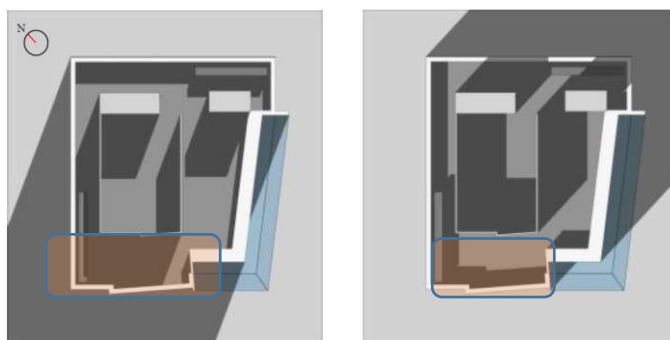


Fig. 2 Estudi d'ombres simulat, a les 7:30 h i a les 18:30 hores del mes de juliol i amb la zona d'instal·lació de les mostres indicada.

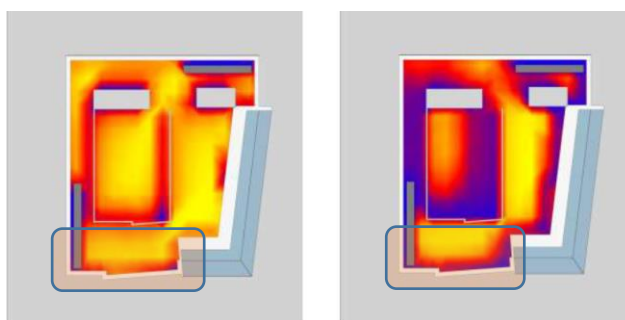


Fig. 3 Estudi d'incidència solar acumulativa simulada dels mesos de juliol (esquerra) i desembre (dreta) i amb la zona d'instal·lació de les mostres indicada

El reg suposa un factor molt important per al correcte funcionament de cada sistema. Per aquest motiu s'ha acordat amb tots els proveïdors les quantitats i pautes de reg que es necessiten per garantir el manteniment en òptimes condicions de la capa vegetal. Del punt de subministrament d'aigua disponible a la coberta, s'ha instal·lat un tub de coure amb resistència a la pressió, de 25mm de diàmetre que, en arribar a cadascuna de les mostres disposa o no, en funció de les

necessitats hídriques de les espècies vegetals, d'un temporitzador que regula el reg de cadascuna de les mostres.

### 1.2 Les mostres a estudi

Les mostres instal·lades a la coberta experimental han estat (Fig. 4).

**Mostra 1** Sistema coberta extensiva amb sèdums; pes 90 kg/m<sup>2</sup> i espessor 130 mm (180 mm amb plantes).

**Mostra 2** Sistema coberta Semi-Intensiva; pes 160 kg/m<sup>2</sup> i espessor 200 mm (300 mm amb plantes).

**Mostra 3** Sistema coberta extensiva amb sèdums; pes 166 kg/m<sup>2</sup>; espessor 120 mm (170 mm amb plantes).

**Mostra 4** Sistema coberta extensiva amb sèdums; pes 80 kg/m<sup>2</sup>; espessor 140mm (180 mm amb plantes).

**Mostra 5** Sistema coberta extensiva sèdums tapís; pes 120kg/m<sup>2</sup>; espessor 160 mm (210 mm amb plantes).

**Mostra 6** Sistema coberta de Gramínies; pes 145kg/m<sup>2</sup>; espessor 270 mm (770 mm amb plantes).

**Mostra 7** Sistema coberta extensiva sèdums; pes 140kg/m<sup>2</sup>; espessor 150mm.

**Mostra 8** Sistema coberta semi-Intensiva; pes: 220kg/m<sup>2</sup>; espessor 200mm.

**Mostra 9** Sistema coberta extensiva 2 x 2 m; pes 65kg/m<sup>2</sup>; espessor 130 mm (230 mm amb plantes).

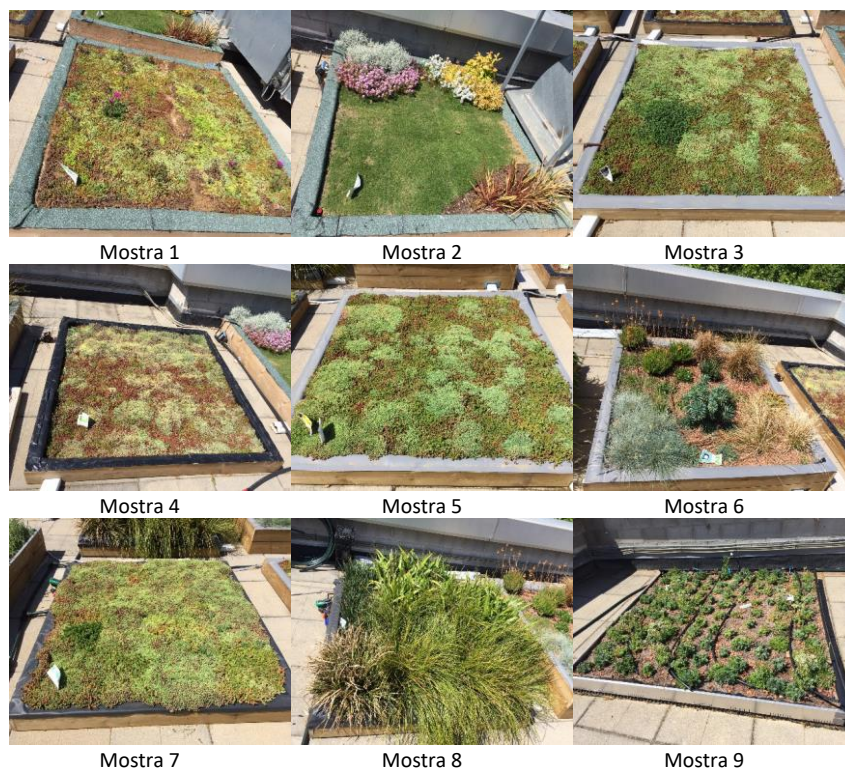


Fig. 4 Aspecte de les 9 mostres la setmana del 16 al 22 de maig de 2016

Les empreses col·laboradores han estat per ordre alfabètic: IGNIAGREEN (2 mostres), MAS WAS (2 mostres), PROJAR (1 mostra), RENOLIT (1 mostra), URBANSCAPE (1 mostra) i ZINCO (2 mostres).

### 1.3 Recollida de dades

Per poder fer una anàlisi del comportament de les solucions d'acabat (capa vegetal i substrats, ja que aquestes són les que poden mostrar major variabilitat enfront les condicions climàtiques), es van plantejar tres tipus i procediments de recollida i anàlisi de dades:

**A1 Verificació del comportament tèrmic** de les diferents capes vegetals i substrats mitjançant la recollida de dades en el següents punts (Fig. 5):

- **D:** Temperatura ambient en zona vegetació
- **C:** Temperatura sobre la capa de substrat
- **B:** Temperatura sota la capa de substrat
- **A:** Temperatura sota la solució completa i sobre l'aïllament que independitza la mostra de les condicions tèrmiques de l'espai inferior.

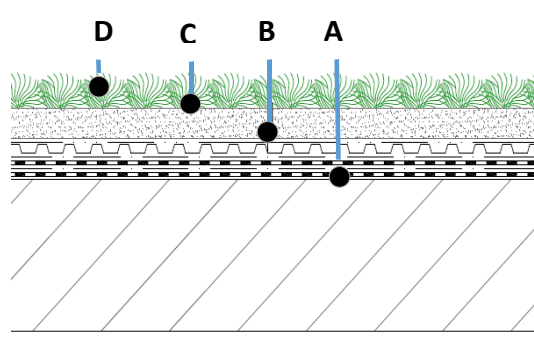


Fig. 5 Distribució de les sondes de recollida de dades higrotèrmiques en una solució tipus de coberta enjardinada

Es va decidir no recollir dades de Temperatura en les capes intermèdies perquè aquestes són de materials estables, poc o gens "influenciables" pels condicionants climàtics, i que han estat o poden ser assajats a laboratori, mentre que les capes de vegetació i substrats poden variar degut a factors com: mortaldat de la vegetació, factors d'ombra segons les diferents espècies vegetals, grau de retenció de la humitat en el substrat, variabilitat de les esorrenties segons precipitacions, etc.

Per a la monitorització durant un any de dades de temperatura i humitat en els diferents punts de les distintes mostres, es va instal·lar, per part d'un tècnic del Laboratori de Materials de la UPC, diferents elements de mesura, consistents en termoparells de lectura de temperatura, en els 4 punts assenyalats i en cada mostra. Aquestes 36 sondes termoparells amb triple sortida **Testo U** (4 termoparells x 9 mostres) han estat connectades a un "Dataloguer", Instrument multifunció **Testo 435-2**, que recull també les condicions de temperatura ambient, i que ha estat ubicat en un punt protegit de la intempèrie. Hores d'ara s'han recollit dades de temperatura i humitat cada 10' minuts al llarg de les 24 hores del dia, des del mes de febrer 2016 a abril 2016 (en període de proves), i des de llavors a l'actualitat (desembre 2016). Està previst mantenir la instal·lació i la recollida de dades fins el mes d'abril 2017 com a mínim. La descàrrega de lectures s'ha fet manual, cada dues setmanes.

**A2. Verificació del comportament de la coberta en vers l'escorrentia d'aigua.** Aquesta part de l'experiment ha quedat pendent de realitzar per les dificultats d'instal·lar un sistema de comptatge en unes mostres en contacte amb la coberta existent en comptes de sobre taules, el que hagués permès la instal·lació dels sistemes de registre però hagués invalidat l'anàlisi del comportament tèrmic. Tanmateix, els cabalímetres comptabilitzen a partir de cabals majors dels

que es recullen en les mostres de l'experiment. Es segueix estudiant com quantificar aquesta part experimental.

**A3. Temperatura superficial de la solució de coberta** mitjançant la lectura comparada amb l'ús de càmeres termogràfiques. Aquesta lectura s'ha fet amb càmera termogràfica *InfraCAM SD Flir Systems*.

A mida que avançava l'experiment s'ha comprovat que calia anar enregistrant altres dades interessants com han estat:

**B1. Pautes de reg** de cada una de les mostres, que s'han programat segons les recomanacions dels propis instal·ladors, per relacionar-les amb el consum d'aigua (en aquest moments potable, el que significa una variable a tenir en compte des del punt de vista de la sostenibilitat ambiental), i la pervivència de la capa vegetal.

**B2. Aparició d'herbes no desitjades (males herbes)** que competeixen pels recursos amb les plantes de les diferents mostres. Inspecció visual.

**B3. Incidència de la quantitat de matèria orgànica animal** en cada una de les solucions de coberta i la seva relació amb l'atac i destrosses en les instal·lacions per part d'aus. Inspecció visual.

Val a dir que aquestes tres darreres variables proporcionen una informació molt valuosa a l'hora de verificar les bondats de cadascuna de les solucions de coberta, sobretot pel que fa a les qüestions de manteniment i durabilitat en bones condicions de les cobertes vegetals, i en conseqüència en la seva gestió.

## 2. Resultats

### **A1 Verificació del comportament tèrmic:**

Tota la informació sobre les dades de comportament tèrmic de les mostres es troba recollida en un informe extens. Per qüestió d'espai, en aquest document només mostrem algunes de les comparatives realitzades que han permès extreure conclusions rellevants per a la recerca que s'està duent a terme.

Tot i que disposem en el moment de redactar aquest informe de dades fiables de temperatures de les 9 mostres durant un període de 9 mesos (abril 2016-desembre 2016), considerem que les gràfiques de resultats que presentem són una mostra prou significativa del comportament tèrmic de les solucions de cobertes enjardinades. Tots els resultats obtinguts s'han enregistrat i estan custodiats per l'empresa Eixverd i per la UPC. Així mateix estan a disposició del públic, sota sol·licitud, per a fer-ne un ús exclusivament científic, i evidentment a disposició de les entitats col·laboradores i de les empreses participants.

Comparant les diferents mostres entre elles, en el punt inferior de la solució constructiva (punt A) durant el període comprés entre maig 2016 i agost 2016 (Fig. 6) s'ha pogut comprovar com, per a unes mateixes temperatures ambient, el sistema enjardinat que es comporta millor (és a dir, mostra unes oscil·lacions de temperatura més petites) és la mostra M8 seguida de la M6. La mostra M4, en canvi, mostra unes oscil·lacions grans degut al poc espessor de la capa del substrat i, en conseqüència a una inèrcia tèrmica menor que la que disposen la resta de solucions.

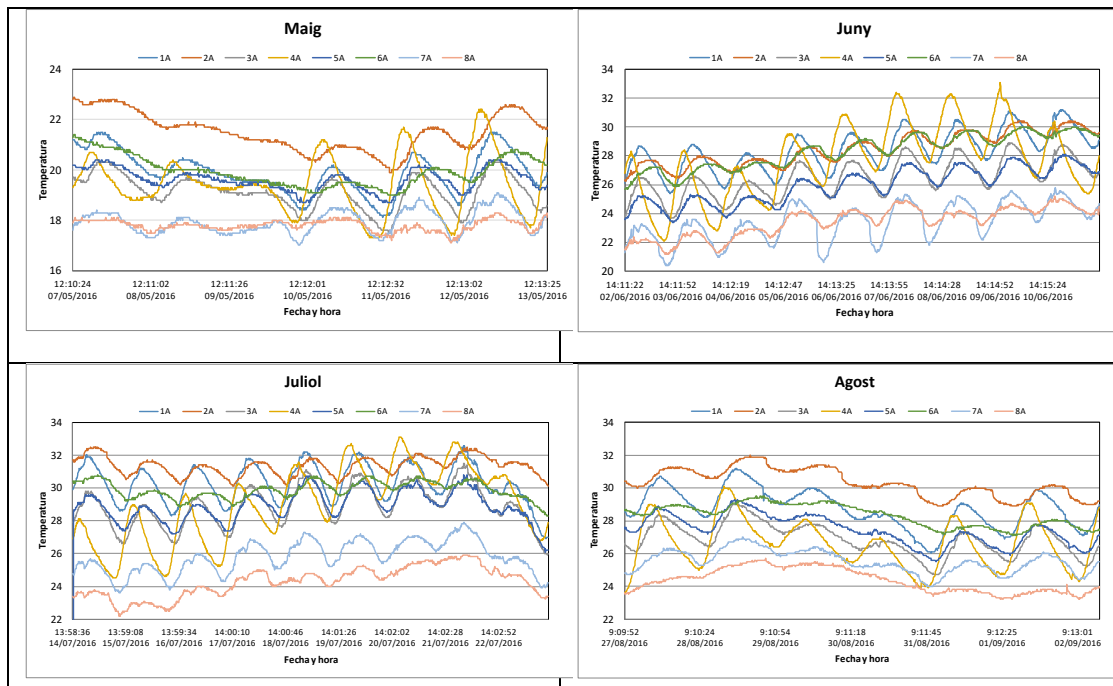


Fig. 6 Lectura comparada de dades de temperatura en el punt A sota solució de coberta

Aquestes gràfiques també indiquen que l'oscil·lació tèrmica aconseguida en cada mostra depèn del comportament de tot el conjunt. Per a una millor comprensió d'aquest fenomen, s'han utilitzat les temperatures diàries màximes, mínimes i mitjanes d'un setmana en les ubicacions C (sobre la capa de substrat), B (sota la capa de substrat) i A (sota la solució completa).

En tots els mesos, s'han observat diferències significatives entre les diferents mostres. Per una banda, les temperatures mesurades entre la vegetació (en particular els pics) demostren que el tipus de vegetació és determinant. La reducció en l'oscil·lació de l'ona tèrmica a l'interior del sistema, ja sigui sota el substrat o sota el sistema complet també depèn fortament del gruix del substrat i d'altres característiques del sistema. El mateix passa amb el desfasament (retard) entre els pics de temperatura a l'exterior i a l'interior.

### A3. Temperatura superficial de la solució de coberta

En aquest apartat es recull la informació obtinguda per un estudiant de doctorat de la UPC, sota supervisió de l'equip investigador de la UPC, amb la càmera termogràfica **InfraCAM SD Flir Systems**. Les imatges es van prendre el 23 de juny i el 8 de setembre, durant tot el dia, a cada hora, des de les 10:00 fins a les 22:00.

En la Fig. 11, es recullen les fotografies de les 9 mostres a la mateixa hora (12:00) del dia 23 de juny. Si s'observa el termòmetre disposat a la dreta de les imatges, es pot interpretar que els tons blaus signifiquen temperatures superficials en la capa vegetal al voltant dels 30°C, els tons grocs corresponents a una temperatura al voltant dels 45°C, els vermells als volts dels 50°C i el color rosa/blanc que correspon a la temperatura màxima enregistrada de 60°C aproximadament. A simple vista, es pot comprovar com les mostres 2, 6 i 8 proporcionen temperatures diferencialment més fredes (tons blaus) que les mostres 3, 4, 5 i 7 i 9.

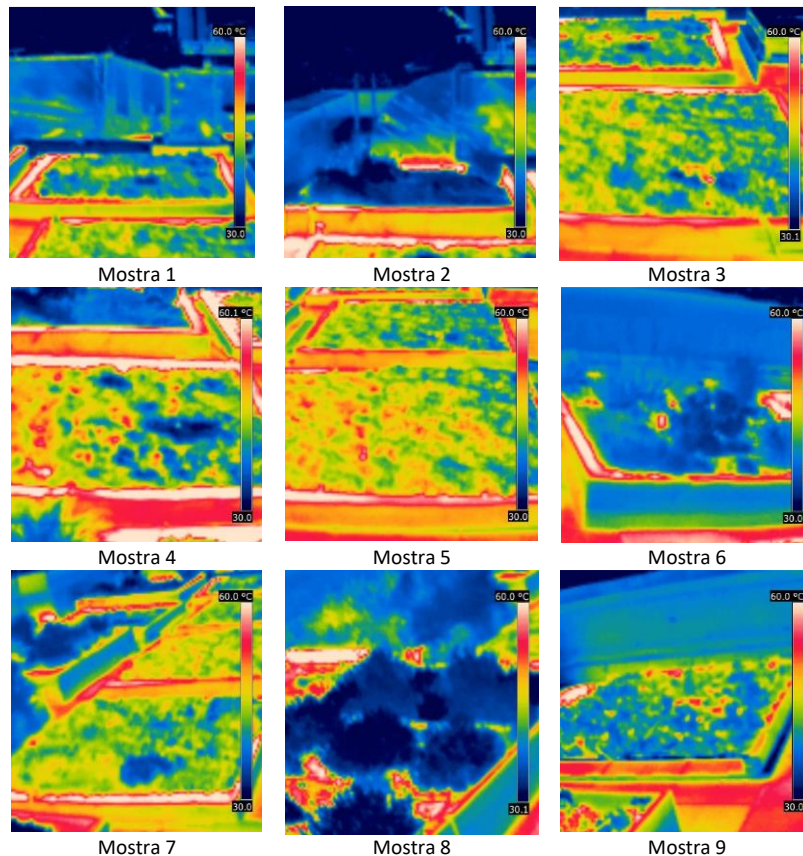


Fig. 7 Fotografies termogràfiques de les 9 mostres, a les 12:00 hores. 23 de juny 2016

Aquesta circumstància està directament relacionada amb el tipus de vegetació plantada. És lògic que aquella vegetació més frondosa, que anomenem “coberta intensiva” ofereix temperatures més baixes, un fenomen relacionat amb l’evaporació/transpiració de les plantes.

Al marge d’aquesta comparativa, també ens ha semblat interessant veure el comportament de cadascuna de les mostres al llarg de tot el dia, i comparar-la amb la temperatura ambient.

La diferència de temperatura superficial en la mateixa mostra varia en alguns moments fins a 20°C, i sembla que hauria d’estar relacionada amb el grau d’humitat que conté la pròpia planta, o amb la tonalitat del sèdum. A la vista d’aquesta realitat, hem considerat que caldrà tornar a prendre fotografies amb càmera termogràfica mapejant les temperatures sobre el tapís vegetal, amb una fotografia absolutament ortogonal a la mostra, que permeti diferenciar clarament les taques de cada espècie vegetal i el mantell de substrat.

### **B1. Pautes de reg**

Una de les qüestions a analitzar durant aquest experiment ha estat la necessitat hídrica de cadascuna de les mostres assajades. El criteri d’instal·lació del sistema de reg s’ha fet a partir de les necessitats del conjunt de mostres: una pressió mínima del punt d’aigua d’1bar i màxima de 4bars; a una distància mínima de 110 cm de la instal·lació elèctrica per evitar curtcircuits en cas de fuites d’aigua, tal com indica la norma, i amb un cabal de 2000l/h servit en dues aixetes, una per a les mostres de cobertes verdes i una per a les mostres d’hort urbà (que s’està experimentant en paral·lel a aquest projecte).

En la taula següent, (Fig. 14) s’especifiquen les pautes de reg seguides en cadascuna de les mostres, seguint les indicacions dels instal·ladors, i que es programen en freqüència setmanal, i

en minuts de reg. A partir d'aquesta demanda hídrica, s'han verificat els consums totals de litres d'aigua de reg al llarg de tota la fase experimental (aproximadament 9 mesos), tenint en compte que hi ha reg diferenciat estacional. Per aquest motiu s'ha fet una mitjana setmanal de consum d'aigua/m<sup>2</sup> de solució de coberta. Finalment, i donat que el pes de les mostres s'incrementa quan aquestes es troben saturades d'aigua, s'ha incorporat aquest paràmetre a la taula.

	<i>Freqüència setmanal</i>	<i>Minuts</i>	<i>Mitjana setmanal reg l/m<sup>2</sup></i>	<i>Pes mostra saturada d'aigua Kg/m<sup>2</sup></i>
<b>Mostra 1</b>	3	7	4,2	108
<b>Mostra 2</b>	3	7	12,0	208
<b>Mostra 3</b>	1	10	3,5	90
<b>Mostra 4</b>	Reg s/bateria		2,2	70
<b>Mostra 5</b>	1	10	3,5	150
<b>Mostra 6</b>	1	10	3,5	330
<b>Mostra 7</b>	2	5	5,7	140
<b>Mostra 8</b>	2	5	5,7	220
<b>Mostra 9</b>	5	5	4,0	159

Fig. 8 Taula resum de la freqüència, durada de reg, consum setmanal d'aigua/m<sup>2</sup> i pes de les mostres saturades.

Val a dir que, donat que treballem amb espècies vives, no només calia mesurar la quantitat d'aigua consumida, ja que l'objecte de l'ús d'aquest recurs havia de garantir la pervivència de les espècies instal·lades i per tant s'havia de relacionar amb l'estat de conservació, manteniment i aspecte de les mostres a estudi.

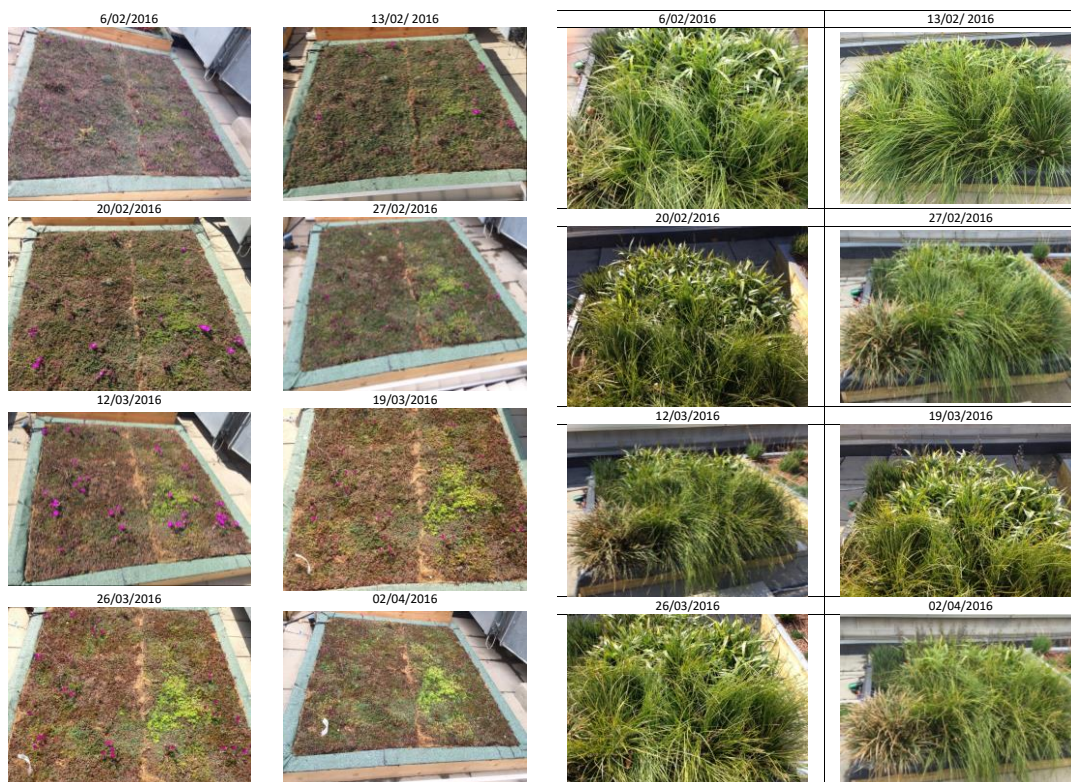


Fig. 9 Evolució del verd de dues mostres durant 8 setmanes (febrer a abril 2016)

En aquest sentit, s'han fotografiat setmanalment totes les mostres i s'han detectat ràpidament si es presentava alguna incidència, per exemple l'aturada de funcionament d'algun temporitzador o l'esgotament de la bateria d'algun dels sistemes de reg.

En general, les mostres han presentat un bon grau d'arrelament i de pervivència en relació al que s'esperava d'elles. És evident que una coberta intensiva és més aparent que una coberta extensiva, però també és cert que habitualment (que no necessàriament) precisa més aigua i en conseqüència suposa més pes per m<sup>2</sup>. En la Fig. 15 es mostra l'evolució durant 8 setmanes de dos tipus de mostres: coberta extensiva de sèdum (esquerra) i coberta semi intensiva (dreta).

En els informes realitzats trimestralment, s'ha enregistrat el comportament de cadascuna de les mostres, indicant les incidències i l'evolució del verd.

## B2. Aparició de *males herbes* o herbes no desitjades

Durant el seguiment de l'experiment, també s'ha enregistrat l'aparició d'herbes no desitjades, el que habitualment anomenem *males herbes*. L'aparició d'aquesta vegetació no és en si un problema, però és cert que aquests tipus de plantes competeixen pels recursos hídrics amb la vegetació programada, per la qual cosa s'ha de controlar la seva proliferació. En la visita setmanal que es realitzava, s'identificava l'aparició d'herbes no desitjades i s'enregistrava l'espècie i la quantitat (Fig. 16).



Fig. 10 Recull d'herbes no desitjades durant els dos primers trimestres 2016

## 3. Conclusions

A partir de la nostra experiència, podem extreure una sèrie de conclusions:

1. Totes les solucions de coberta analitzades tenen un comportament important com a aïllament tèrmic. Algunes de les mostres s'han presentat especialment eficients en aquest paràmetre, i la capa de substrat s'ha mostrat, en aquest experiment, una de les més influents.
2. Les solucions de coberta tenen un cost prou similar entre elles, però les necessitats dels sistemes de reg, la rapidesa de col·locació, la reversibilitat o no de les diferents solucions, i el més important, el manteniment, són paràmetres que s'han d'avaluar a l'hora de la presa de decisions.

3. El consum d'aigua varia de manera important segons la solució de coberta instal·lada. De les mostres instal·lades s'han comptabilitzat consums que van des dels 450 l/m<sup>2</sup>/any, als 1750 l/m<sup>2</sup>/any. La majoria de mostres però es mouen entre els 600 i els 900 l/m<sup>2</sup>/any. Aquest indicador és especialment rellevant si la coberta que es vol enjardinar és de grans dimensions.

4. Un altre paràmetre a considerar a l'hora de triar una solució o altra és el pes/m<sup>2</sup> ja que s'ha d'avaluar la capacitat de sobrecàrrega de la coberta existent. La majoria de solucions analitzades suposen una sobrecàrrega de 0,2 N/m<sup>2</sup> (el que tradicionalment s'havia considerat una sobrecàrrega de neu de 20 cm de gruix, a Barcelona). Val a dir que aquests valors són amb la mostra seca, i que és cert que dues de les mostres analitzades sobrepassen aquests valors quan estan saturades d'aigua. En qualsevol cas hi ha una solució de coberta verda per a cada tipologia d'edifici encara que disposi de poca capacitat de sobrecàrrega.

5. Un condicionant important a l'hora d'instal·lar una coberta enjardinada és l'aparença o la voluntat estètica i arquitectònica. Les possibilitats són il·limitades, per aquest motiu és sempre recomanable la participació dels professionals, arquitectes o enginyers, que poden avaluar, proposar, implementar, controlar i fer el seguiment o manteniment de les cobertes amb el coneixement que els és propi.

6. El manteniment de les cobertes enjardinades és un factor clau que garanteix o no l'èxit de la instal·lació. En aquest sentit es donen una sèrie de condicionants que cal revisar i controlar: per una banda el bon funcionament de les instal·lacions de reg, i per l'altra el drenatge i la correcta evacuació de les aigües sobrants .

7. Durant l'experiment hem observat els efectes del que hem anomenat "agents biològics col·laterals". La tria del substrat de la solució de coberta s'ha mostrat molt rellevant: si per una banda els substrats amb més nutrients, amb insectes i altres espècies són una font alimentària per a distintes aus, els substrats com les llanes minerals, en canvi, són una font de "material de construcció" per a les garses. També és cert que la frondositat de la capa vegetal impedeix o facilita l'accés dels ocells al substrat, per la qual cosa cal avaluar diferents conceptes a l'hora de fer la tria més adequada.

8. La qualitat del verd, en condicions climàtiques reals, també és un factor a tenir en compte. De les mostres assajades, tres han millorat la qualitat del verd al llarg del període estudiat, altres dues l'han mantingut, mentre que 4 mostres han empitjorat el seu aspecte respecte al dia que varen ser instal·lades. Les causes han estat diverses: problemes puntuals amb els sistemes de reg; esgotament de les bateries dels programadors; substrat massa mineral que comporta que l'aigua escorre massa ràpid; substrats que dificulten o fins i tot impedeixen un bon arrelament; substrats "llaminers" per a les aus que trepitgen i "vandalitzen" les instal·lacions.

Finalment, podem assegurar que aquestes propostes funcionen si hi ha gent implicada que vetlla pel bon funcionament i la durabilitat de les cobertes verdes. Hem comprovat, al llarg d'aquests darrers anys, múltiples exemples d'èxit que, sempre, venen de la mà d'uns usuaris (públics o privats) que consideren el verd urbà com una eina de millora de la qualitat de vida de la ciutadania.