



CODE 240

CUBIERTAS VERDES Y REHABILITACIÓN: PROCESOS DE PARTICIPACIÓN Y COOPERACIÓN UNIVERSIDAD EMPRESA

Bosch, Montserrat^{1*}; Calvo, Lidia²; Boleda, Martí³; R. Cantalapiedra, Inmaculada⁴; Lacasta, Ana⁵

1: Grupo de Investigación GICITED.
Universitat Politècnica de Catalunya
e-mail: montserrat.bosch@upc.edu , web: www.epseb.upc.edu

2: Eixverd.
e-mail: lidia@eixverd.cat

3-5: UPFSostenible
Universitat Pompeu Fabra
3: e-mail: marti.boleda@upf.edu
4: e-mail: inmaculada.rodriguez@upc.edu
5: e-mail: ana.maria.lacasta@upc.edu

PALABRAS CLAVE: Transferencia de Tecnología, Rehabilitación, cubiertas verdes, impacto ambiental, Procesos participativos.

RESUMEN

Las cubiertas vegetales pueden aportar interesantes beneficios a la edificación existente: mejoras en el comportamiento térmico y acústico; regulación de las aguas pluviales; y en clave ciudad, mejorar los efectos isla de calor, ayudar al mantenimiento de cierta biodiversidad y convertirse en elementos paisajísticos que crean nuevos espacios de convivencia y de calidad en el entorno urbano.

Algunas de las propiedades de estas soluciones ya han sido ampliamente ensayadas en laboratorio, pero existen pocos experimentos en los que se pueda observar el comportamiento de las diversas propuestas que ofrece el mercado, sometidas a condiciones climatológicas reales, algunas tan variables como las que se dan en la cuenca del Mediterráneo, con lluvias intensas y puntuales, periodos de sequía esporádicos, cambios de temperatura bruscos, etc.

Por este motivo se ha realizado el experimento que aquí presentamos: a lo largo de más de dos años de trabajo (febrero de 2015 a mediados de 2017, uno de ellos experimental) se ha estudiado el comportamiento de diferentes soluciones de cubierta verde "in situ", convirtiendo la cubierta de un edificio existente en un "living-lab", y se han verificado distintos parámetros que han proporcionado una valiosa información tanto para los grupos de investigación que han intervenido en el proyecto como para los distintos industriales que han participado en él.

Asimismo, ha servido para identificar las prevenciones y resistencias que todavía existen en la sociedad en relación a la implementación de cubiertas verdes como estrategia de rehabilitación y se han cuantificado diversos parámetros más allá de las habituales medidas de mejora del aislamiento térmico: temperatura superficial de las distintas soluciones de cubierta mediante cámara termográfica; pautas de riego; consumo de recursos hídricos y sobrecargas; pervivencia de la capa vegetal; gestión y mantenimiento de las soluciones; cuantificación de biodiversidad e incluso incidencias debidas a la fauna local.

1. INTRODUCCIÓN

Existen diversas estrategias para reducir la vulnerabilidad de nuestras ciudades frente al cambio climático y hacerlas más sostenibles. La implantación de cubiertas vegetales es una de ellas, ya que se ha demostrado que pueden aportar interesantes beneficios a la edificación existente: mejoras en el comportamiento térmico [1] [2], propiedades acústicas; regulación de las aguas pluviales [3]; y en clave ciudad, mejorar los efectos isla de calor, ayudar al mantenimiento de cierta biodiversidad y convertirse en elementos paisajísticos que crean nuevos espacios de convivencia y de calidad en el entorno urbano [4] [5].

En esta línea, el pasado 11 de julio de 2017, el Ayuntamiento de Barcelona publicó en el Butlletí Oficial de la Provincia de Barcelona (POPB) las *Bases reguladoras y la convocatoria del concurso de cubiertas verdes en la ciudad de Barcelona*, [6]. El concurso prevé seleccionar 50 propuestas para acabar premiando 10 proyectos y tiene como destinatarios los edificios residenciales (comunidades de propietarios y propiedades verticales en las que más de un 70% de las unidades estén destinadas a vivienda habitual), edificios que por su ubicación tengan un fuerte impacto paisajístico y generen una mejora de carácter colectivo y social, y prioritariamente los edificios ya existentes. Está prevista una financiación económica para estos proyectos de hasta un 70%.

En este contexto, y dados los vínculos que tenemos con las distintas administraciones y entidades implicadas en implantación de cubiertas vegetales en entornos urbanos, nos parece oportuno presentar nuestra experiencia de investigación universitaria sobre cubiertas verdes. Sobre todo nos parece interesante explicar la colaboración entre las distintas entidades que hemos colaborado en todo el proceso, y lo hacemos con la voluntad de enmarcar la presentación en el Apartado Temático “Procesos de participación social y aspectos socioculturales en los proyectos de rehabilitación”, ya que nos parece que, a menudo, son estos aspectos socioculturales los que quedan al margen de la discusión.

2. LA “CUBIERTA EXPERIMENTAL MERCÉ RODOREDA-UPF”

2.1 Antecedentes

Con el objetivo de realizar un seguimiento a lo largo de todo un año del comportamiento de diferentes soluciones de cubierta verde "in situ", se puso en marcha el proyecto de investigación de la "Cubierta Experimental Mercè Rodoreda (MR)", sobre un edificio ubicado en Barcelona, dentro del Campus Ciutadella de la Universitat Pompeu Fabra (UPF), Barcelona, convirtiendo un espacio de servicios en un laboratorio experimental.

El proyecto, liderado por la empresa EIXVERD y bajo la dirección de Lidia Calvo (Ingeniera Industrial) ha contado con la colaboración de diferentes empresas que han proporcionado los materiales y han realizado las instalaciones de sus muestras.

Por su parte la Universitat Pompeu Fabra, lleva desarrollando, desde el vicerrectorado de responsabilidad social, un Plan estratégico y consideró interesante alojar el experimento en sus instalaciones, por lo que ha cedido el uso de la cubierta, facilitado su acceso y asumido los costes de suministros. Además, pretende promover la investigación transversal y la transferencia del conocimiento y participa en el proyecto con el objetivo de profundizar y disfrutar de los beneficios del verde urbano en cubiertas y fachadas,.

La investigación metodológica la ha liderado el Grupo Interdisciplinar de Ciencia y Tecnología en la Edificación (GICITED), de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), que ha coordinado y dirigido los trabajos con la implicación de varias investigadoras del grupo, la participación de estudiantado del Grado en Arquitectura Técnica y Edificación, y la colaboración del Laboratorio de Materiales de la Escuela Politécnica Superior de la Edificación de Barcelona (EPSEB-UPC). Además, durante la fase de definición del proyecto experimental han participado arquitectos, investigadores de

varias universidades y estudiantes de doctorado, que han aportado sus conocimientos particulares desde diferentes ramas de la ciencia.

Este proyecto es, por tanto, un ejemplo de colaboración entre diversas entidades, públicas y privadas, e investigadores de formación también diversa y significa una manera de hacer que genera beneficios para la ciudadanía. En este sentido también hay que agradecer la iniciativa del Área Metropolitana de Barcelona (AMB) por la convocatoria de apoyo económico a proyectos de investigación ambiental en el campo de la edificación, y en la que este proyecto resultó seleccionado.

2.2 El diseño del experimento

El experimento pretendía comparar el comportamiento térmico y la escorrentía de agua de diferentes soluciones de cubierta verde que respondían a las propuestas de diferentes empresas /fabricantes/instaladores. También se querían comparar las dificultades y exigencias de mantenimiento de las diferentes soluciones, ya que este parámetro a menudo queda poco especificado en el momento de exponer las condiciones de contorno de las cubiertas ajardinadas.

El experimento se ha llevado a cabo a partir de 9 muestras de cubierta, dispuestas sobre la actual cubierta del edificio Mercè Rodoreda 23, situado en el campus Ciutadella de la Universitat Pompeu Fabra (C / Ramon Trias Fargas, 25- 27, 08002, Barcelona) (Fig. 1). Actualmente, el edificio dispone de una solución de cubierta transitable invertida constituida por una lámina asfáltica impermeabilizante y losetas tipo 'Filtrón' que incorporan una capa de aislamiento térmico y una capa de acabado final. Sobre la cubierta existente se propuso la construcción de 9 parterres (uno para cada propuesta) aislados en todo su perímetro y por debajo.

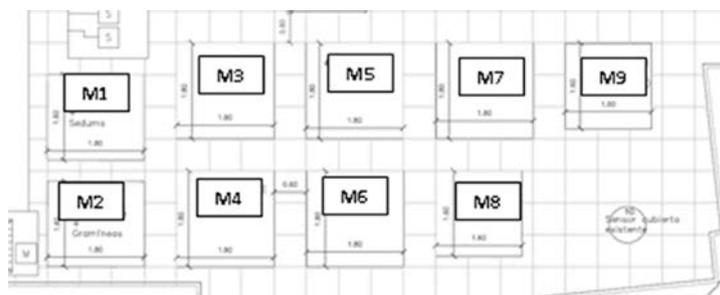


Figura 1 Ubicación y dimensiones de las muestras, con pasillos entre ellas que permiten el acceso, registro de datos y mantenimiento.

La distribución de las muestras se hizo verificando, mediante modelización con el programa REVIT, que todas se encontrarán bajo las mismas condiciones de incidencia solar a lo largo del ciclo anual, por lo que este hecho no debía interferir en la comparativa de los resultados (Fig. 2).

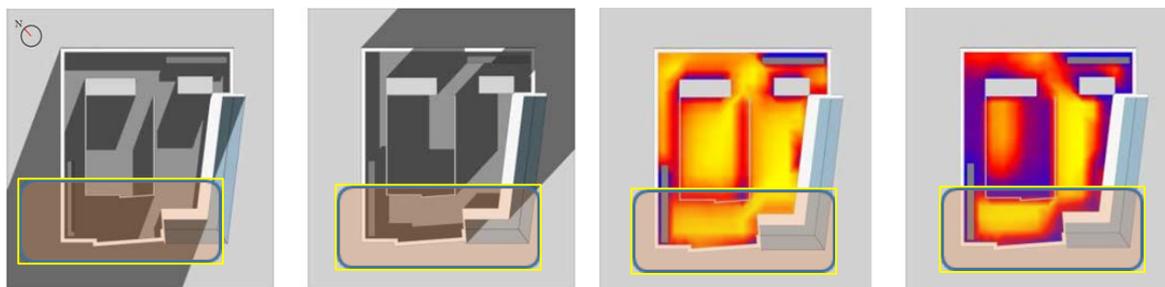


Figura 2 Estudio de proyección de sombras por elementos adyacentes (invierno y verano) y de incidencia solar Acumulativa (invierno y verano). En el recuadro la zona de ubicación de las muestras.

Puesto que el sistema y régimen de riego suponía un factor muy importante para el correcto funcionamiento de cada sistema, se acordó con todos los proveedores las cantidades y pautas de riego que ellos mismos recomendaban para garantizar las condiciones óptimas de la capa vegetal. Para ello, se instaló un tubo de cobre con resistencia a la presión, de 25mm de diámetro que, al llegar a cada una de las muestras disponía de un temporizador que regulaba el riego de manera individual.

2.3 Las muestras sometidas a estudio

Las muestras M instaladas en la cubierta experimental han sido (Fig. 3).

M1 Sistema cubierta extensiva con Sédum; peso 90 kg/m² y espesor 130 mm (180 mm con plantas).

M2 Sistema cubierta semi-Intensiva; peso 160 kg/m² y espesor 200 mm (300 mm con plantas).

M3 Sistema cubierta extensiva con Sédum; peso 166 kg/m²; espesor 120 mm (170 mm con plantas).

M4 Sistema cubierta extensiva con Sédum; peso 80 kg/m²; espesor 140mm (180 mm con plantas).

M5 Sistema cubierta extensiva Sédum tapiz; peso 120 kg/m²; espesor 160 mm (210 mm con plantas).

M6 Sistema cubierta de Gramíneas; peso 145 kg/m²; espesor 270 mm (770 mm con plantas).

M7 Sistema cubierta extensiva Sédum; peso 140 kg/m²; espesor 150mm.

M8 Sistema cubierta semi-intensiva; peso: 220 kg/m²; espesor 200mm.

M9 Sistema cubierta extensiva 2x2 m; peso 65 kg/m²; espesor 130 mm (230 mm con plantas).



Figura 3 Muestras M1 a M9 de izquierda a derecha y de arriba abajo. Fotografías tomadas la semana del 16 al 22 de mayo 2016

2.4 Registro y procesamiento de datos

Para poder hacer un análisis del comportamiento de las soluciones de acabado (capa vegetal y sustratos, ya que estas son las que pueden mostrar mayor variabilidad frente las condiciones climáticas), se plantearon tres tipos y procedimientos de recogida y análisis de datos:

- **A1** Verificación del comportamiento térmico de las diferentes capas vegetales y sustratos mediante la recogida de datos en los siguientes puntos (Fig. 4):
 - T1: Temperatura ambiente en zona vegetación
 - T2: Temperatura sobre la capa de sustrato
 - T3: Temperatura bajo la capa de sustrato
 - T4: Temperatura bajo la solución completa y sobre el aislamiento que independiza la muestra de las condiciones térmicas del espacio inferior.

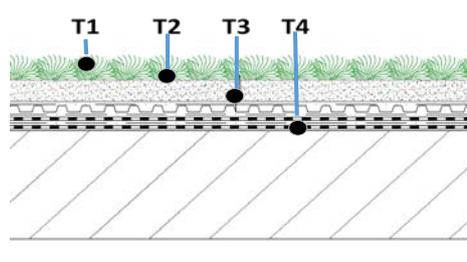


Figura 4 Sección típica con la ubicación de las sondas indicadas

Para la monitorización durante un año de datos de temperatura y humedad en los diferentes puntos de las distintas muestras, se instalaron elementos de medida, consistentes en termopares de lectura de temperatura, en los 4 puntos señalados y en cada muestra. Los datos de estas 36 sondas se han recogido con un registrador multicanal Applent AT4534 y también se han recogido las condiciones de temperatura ambiente en un punto protegido de la intemperie. Durante más de un año se han recogido datos de temperatura y humedad cada 10' minutos a lo largo de las 24 horas del día, desde el mes de febrero a abril de 2016 (en periodo de pruebas), y desde entonces a la actualidad (abril 2017). La descarga de lecturas se hizo de manera manual, cada dos semanas.

- **A2.** Verificación del comportamiento de la cubierta en relación a la escorrentía de agua. Esta parte del experimento ha quedado pendiente por diversos motivos técnicos.
- **A3.** Temperatura superficial de la solución de cubierta mediante la lectura comparada con el uso de cámaras termográficas. Esta lectura se ha hecho con cámara termográfica InfraCAM SD Flir Systems.

A medida que avanzaba el experimento se comprobó que había que ir registrando otros datos interesantes:

- **B1.** Pautas de riego de cada una de las muestras, que se han programado según las recomendaciones de los propios instaladores, para relacionarlas con la pervivencia de la capa vegetal, y también con el consumo de agua (en nuestro caso proveniente del freático pero que habitualmente procede de red de suministro de agua potable, lo que significa una variable a tener en cuenta desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental).
- **B2.** Aparición de hierbas no deseadas (malas hierbas) que compiten por los recursos con las plantas de las diferentes muestras. Inspección visual.
- **B3.** Incidencia de la cantidad de materia orgánica animal en cada una de las soluciones de cubierta y su relación con el ataque y destrozos en las instalaciones por parte de aves. Inspección visual.

Cabe decir que estas tres últimas variables proporcionaron una información muy valiosa a la hora de verificar las bondades de cada una de las soluciones de cubierta, sobre todo en cuanto a las cuestiones de mantenimiento y durabilidad en buenas condiciones de las cubiertas vegetales, y en consecuencia en su gestión.

3. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

La información completa de los resultados se encuentra recogida en un informe extenso. Por cuestión de espacio, en este documento sólo mostramos algunas de las comparativas realizadas que han permitido extraer conclusiones relevantes para la investigación que se está llevando a cabo. Todos los resultados obtenidos se han registrado y están custodiados por la empresa Eixverd y por la UPC. Asimismo están a disposición del público, bajo solicitud, para hacer un uso exclusivamente científico, y evidentemente a disposición de las entidades colaboradoras y de las empresas participantes.

Verificación del comportamiento térmico: en general, la oscilación térmica conseguida en cada muestra depende del comportamiento de todo el conjunto. Para una mejor comprensión de este fenómeno, se han utilizado las temperaturas diarias máximas, mínimas y medias de un semana en las ubicaciones C (sobre la capa de sustrato), B (bajo la capa de sustrato) y A (bajo la solución completa). En todos los meses, se han observado diferencias significativas entre las diferentes muestras. Por un lado, las temperaturas medidas entre la vegetación (en particular los picos) demuestran que el tipo de vegetación es determinante, así como el espesor del sustrato.

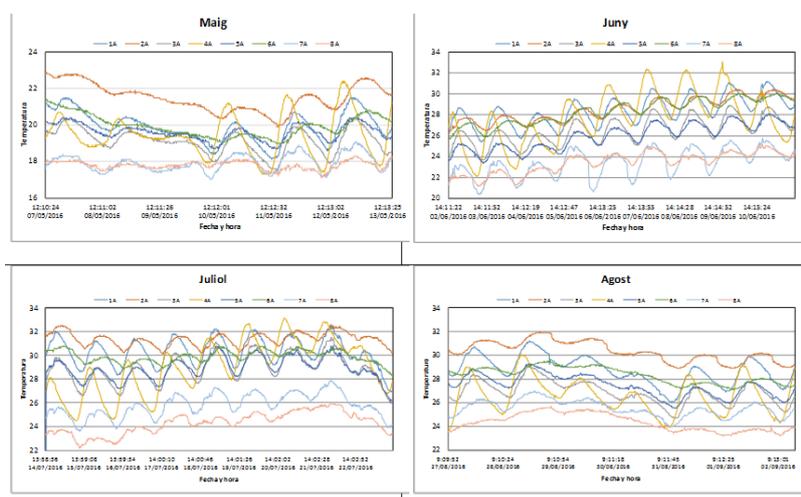


Figura 5 Lectura comparada de los registros de temperatura en el punto A bajo la solución de cubierta.

Temperatura superficial de la solución de cubierta: de las imágenes tomadas con la cámara termográfica InfraCAM SD Flir Systems, el 23 de junio y el 8 de septiembre, durante todo el día, cada hora, desde las 10:00 hasta las 22:00 se registran temperaturas superficiales en la capa vegetal que varían desde los 30°C a los 60°C. En general, las muestras con vegetación intensiva proporcionan temperaturas diferencialmente más frías que las muestras con sédum. Los datos de temperatura y humedad ambiental de los alrededores del edificio fueron tomados de la estación meteorológica del Zoológico de Barcelona (intervalo de muestreo de 10 min), a 100 m de la cubierta experimental y el valor de emisividad obtenido para la superficie del techo fue de 0.98 [7].

Pautas de riego: Una de las cuestiones especialmente interesantes era determinar la necesidad hídrica de cada una de las muestras ensayadas. En la tabla siguiente (Fig. 6) se especifican las pautas de riego seguidas en cada una de las muestras, según las indicaciones de los instaladores, programadas en frecuencia semanal y minutos de riego. A partir de esta demanda hídrica, se han verificado los consumos totales de litros de agua de riego a lo largo de toda la fase experimental teniendo en cuenta que hay riego diferenciado estacional. Por este motivo se ha hecho una media semanal del consumo de agua/m² de solución de cubierta. Finalmente, y dado que el peso de las muestras se incrementa cuando éstas se encuentran saturadas de agua, se ha incorporado este parámetro en la tabla.

	Frecuencia semanal	Minutos	Promedio semanal l/m ²	Peso de la muestra saturada de agua Kg/m ²
Muestra 1	3	7	4,2	108
Muestra 2	3	7	12,0	208
Muestra 3	1	10	3,5	90
Muestra 4	Reg s/batería		2,2	70
Muestra 5	1	10	3,5	150
Muestra 6	1	10	3,5	330
Muestra 7	2	5	5,7	140
Muestra 8	2	5	5,7	220
Muestra 9	5	5	4,0	159

Figura 6 Tabla resumen con las pautas de riego

Puesto que trabajábamos con especies vivas, no sólo había que medir la cantidad de agua consumida, si no que había que relacionar el consumo del recurso con el estado de conservación, mantenimiento y aspecto de las muestras a estudio.

En general, las muestras han presentado un buen grado de arraigo y de pervivencia en relación a lo que se esperaba de ellas. Es evidente que una cubierta intensiva (o ajardinada) es más aparente que una cubierta extensiva (ecológica) dado que la primera incorpora plantas más altas, vivaces arbustivas o árboles. Pero también es cierto que habitualmente (no necesariamente) precisa más agua y supone más peso por m².

Aparición de malas hierbas o hierbas no deseadas: durante el seguimiento del experimento, también se ha registrado la aparición de hierbas no deseadas, lo que habitualmente llamamos malas hierbas. La aparición de esta vegetación no es en sí un problema, pero es cierto que este tipo de plantas compiten por los recursos hídricos con la vegetación programada, por lo que se debe controlar su proliferación.

4. CONCLUSIONES

A partir de nuestra experiencia, podemos extraer una serie de conclusiones:

- Todas las soluciones de cubierta analizadas tienen un comportamiento favorable como aislamiento térmico. Algunas de las muestras se han presentado especialmente eficientes en este parámetro, y la capa de sustrato se ha mostrado, en este experimento, una de las más influyentes.
- Las soluciones de cubierta tienen un coste bastante similar entre ellas, pero las necesidades de los sistemas de riego, la rapidez de colocación, la reversibilidad o no de las diferentes soluciones, y lo más importante, el mantenimiento, son parámetros que se deben evaluar a la hora de la toma de decisiones.
- El consumo de agua varía de manera importante según la solución de cubierta instalada. En las muestras instaladas se han contabilizado consumos que van desde los 450 l/m²/año, a los 1.750 l/m²/año. La mayoría de muestras oscilan entre los 600 y los 900 l/m²/año. Este indicador es especialmente relevante si la cubierta que se quiere ajardinar es de gran tamaño.
- Otro parámetro a considerar es el peso/m² ya que deberá estudiarse como sobrecarga de la cubierta existente. La mayoría de soluciones analizadas suponen una sobrecarga de 0,2 kN/m² en seco, y que es cierto que dos de las muestras analizadas sobrepasan estos valores cuando están saturadas de agua.
- Un condicionante importante a la hora de instalar una cubierta ajardinada es la apariencia o la voluntad estética y arquitectónica. Las posibilidades son ilimitadas, por lo que es siempre recomendable la participación de los profesionales que pueden evaluar, proponer, implementar, controlar y hacer el seguimiento o mantenimiento de las cubiertas.
- El mantenimiento de las cubiertas ajardinadas es un factor clave que garantiza o no el éxito de la instalación. En este sentido se dan una serie de condicionantes que hay que revisar y controlar: el buen funcionamiento de las instalaciones de riego y el drenaje y la correcta evacuación de las aguas sobrantes.
- Durante el experimento hemos observado los efectos de lo que hemos llamado "efectos biológicos colaterales". La elección del sustrato de la solución de cubierta se ha mostrado muy relevante: si por un lado los sustratos con más nutrientes, con insectos y otras especies son una fuente alimenticia para distintas aves, los sustratos como las lanas minerales, en cambio, son una fuente de "material de construcción" para las urracas.
- La calidad del verde (pervivencia de las especies, superficie tapizada, floración, etc.) en condiciones climáticas reales, también es un factor a tener en cuenta. De las muestras ensayadas, tres han mejorado, otras dos se han mantenido, mientras que 4 muestras han empeorado su aspecto respecto al día que fueron instaladas. Las causas han sido diversas: problemas puntuales con los sistemas de riego; agotamiento de las baterías de los programadores; sustrato demasiado mineral; sustratos que dificultan o incluso impiden un buen arraigo; sustratos "golosos" para las aves, etc.

Podemos asegurar que estas propuestas funcionan si hay gente implicada que vela por el buen funcionamiento y la durabilidad de las cubiertas verdes. Existen múltiples ejemplos de éxito que siempre vienen de la mano de usuarios (públicos o privados) que consideran el verde urbano como una herramienta de mejora de la calidad de vida de la ciudadanía.

Asimismo podemos aportar un conocimiento sobre las ventajas ambientales que este tipo de soluciones reportan a la ciudad y que debería ayudar a superar las distintas barreras: de mercado, de financiación, técnicas y/o de sensibilización, éstas últimas relacionadas con la falta de información suficiente por parte de los consumidores/inquilinos/propietarios para tomar decisiones; o la percepción de que las cubiertas vegetales hacen que los edificios sean más caros y difíciles de gestionar;

Barcelona ha sido a menudo líder en una manera de entender la ciudad integradora, solidaria, a veces incluso atrevida. Las posibilidades de hacer mejor ciudad son inmensas, basta valentía y compromiso por parte de aquellos que la proyectan, la gestionan, la viven y, por encima de todo, la aman.

Las conclusiones de este artículo son generales debido a que se ha presentado una parte reducida del estudio.

5. AGRADECIMIENTOS:

Las empresas colaboradoras han sido por orden alfabético: IGNIAGREEN (2 muestras), MAS WAS (2 muestras), PROJAR (1 muestra), RENOLIT (1 muestra), URBANSCAPE (1 muestra) y zinc (2 muestras). Este proyecto ha sido parcialmente financiado por el Área Metropolitana de Barcelona (AMB).

Este trabajo también ha sido parcialmente financiado por MINECO (España) y FEDER dentro del proyecto ENE2015-64117-C5-2-R. Los investigadores del GICITED (UPC) quiere agradecer a la Generalitat de Catalunya el reconocimiento otorgado como grupo de investigación consolidado (2014 SGR 1298).

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Green roofs: building energy savings and the potential for retrofit. H.F. Castleton, V. Stovin, S.B.M. Beck, J.B. Davison. s.l. : Elsevier, 2010, Energy and Buildings, Vol. 42, págs. 1852-1591.
- [2] A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. Issa Jaffal, Salah-Eddine Ouldboukhitine, Rafik Belarbi. s.l. : Elsevier, 2012, Renewable energy, Vol. 43, págs. 157-164.
- [3] Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. R. Fioretti, A. Palla, L.G. Lanza, P. Principi. 45, s.l. : Elsevier, 2010, Building and Environment, págs. 1890-1904.
- [4] Urban reconciliation ecology : The potential of living roofs and walls. Francis, R.A. & Lorimer, J. 2011, Journal of Environmental Management, Vol. 92(6), págs. 1429–1437.
- [5] Green roof yearly performance: A case study in a highly insulated building under temperate climate. M. D'Orazio, C. Di Perna, E. Di Giuseppe. s.l. : Elsevier, 2012, Energy and Buildings, Vol. 55, págs. 439-451.
- [6] Diputació de Barcelona. Butlletí Oficial de la Província de Barcelona. [En línea] 11 de juliol de 2017. [Citado el: 20 de octubre de 2017.] <https://bop.diba.cat/default.asp?C=recerca.avancada>.
- [7] Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos, Ochoa De La Torre José Manuel (2009). Ediciones Erasmus. Barcelona.