



Medida experimental de la contribución de las cubiertas y fachadas verdes al ahorro energético en la edificación en España

Ensayos con arquitectura

VEGETADA

Este trabajo aborda el uso de la vegetación, integrada en la edificación, como sistema pasivo de ahorro de energía. Dado que la vegetación de edificios se puede implementar en las cubiertas (forma más habitual) o en las fachadas (técnica no tan desarrollada como la primera), se han estudiado con profundidad las características y rendimientos de cada uno de estos sistemas. De forma general, se observa que las cubiertas vegetadas están mucho más implantadas, pero aún en proceso de consolidación, mientras que las fachadas vegetadas se encuentran en un estadio inicial, con una gran dispersión de sistemas.

Para progresar en el conocimiento del funcionamiento de estos sistemas, se han realizado diferentes acciones, como el empleo de fachadas vegetadas de doble piel o cortinas vegetales y la implantación de una cubierta vegetada muy simple (grava, sustrato y vegetación) en un cubículo experimental.

Por **GABRIEL PEREZ**. Ingeniero agrónomo, profesor colaborador. **ANNA VILA**. Ingeniero técnico agrícola, becaria. **ALBERT CASTELL**. Doctor ingeniero industrial, investigador. **LUISA F. CABEZA**. Doctor ingeniero industrial, catedrático de universidad. lcabeza@diei.udl.cat. GREA Innovació Concurrent, Universidad de Lleida.

ambiente global, así como para las economías de los países desarrollados y de los que están en vías de desarrollo. Recordemos solamente que los acuerdos internacionales de las cumbres de Kioto (1997) y Bonn (octubre de 1999) concluyen señalando el uso racional de la energía como la principal acción para reducir el efecto invernadero del planeta. La ratificación de Rusia facilitó la entrada en vigor del Tratado de Kioto el 15 de febrero de 2005.

Por otra parte, la dependencia energética de los países desarrollados es especialmente importante en lo relativo al petróleo y el gas. Concretamente en España, en ambos casos la importación superó en 1998 el 99% de la demanda. Teniendo en cuenta la procedencia de estas importaciones y las incertidumbres políticas y económicas a las que se han visto sometidos los países suministradores a lo largo de las últimas décadas, el aumento de la diversificación y la participación de las energías renovables son acciones estratégicas de capital importancia tanto para España como para Europa. Se estima que, de continuar la tendencia actual, la dependencia de las importaciones eu-

El problema del uso eficiente de la energía es actualmente de tal importancia que el debate ha llegado incluso a la opinión pública. Los principales factores causantes de la problemática energética actual radican en la alta demanda de energía de las sociedades desarrolladas y en la creciente demanda por parte de los países en vías de desarrollo, así como en la limitación de las fuentes de energía y la carga medioambiental que genera su uso. Por este motivo, toda mejora en la eficacia del uso de la energía, lo que se conoce como conservación y ahorro de la energía, es deseable para el mantenimiento del medio



ropeas pasará del 50% actual al 70% antes de 2020. Por este motivo, en muchos países, entre ellos España, se está promoviendo el uso de energías renovables como la energía hidroeléctrica, eólica y solar (tanto térmica como fotovoltaica), la biomasa y la energía geotérmica, entre otras, que son formas de energía autóctonas y sostenibles.

Ante tal situación, en España, pero sobre todo en los países del norte de Europa, existe una tendencia hacia la arquitectura bioclimática, en donde se tiene en cuenta la adaptación energética al lugar y el uso de fuentes de energía renovables. Para ello, este tipo de construcciones se basa en tres grandes ejes: ecológico (iluminación natural, ciclo del agua, etc.), materiales (uso de materiales naturales, reciclados, etc.) y energético (que en el área mediterránea se traduce en el aprovechamiento del sol y de la ventilación).

El recientemente publicado *Código técnico de la edificación* subraya en su artículo 15 sobre «Exigencias básicas de ahorro de energía HE» que el objetivo del requisito básico «ahorro de energía» consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

En la bibliografía no se encuentran estudios sistemáticos comparativos del comportamiento de aislantes en edificaciones reales. La mayor parte de los estudios se realizan con cálculos teóricos o simulaciones basadas en cálculos teóricos. Además, la mayor parte de las simulaciones son difícilmente verificables, ya que en edificios reales las ganancias o pérdidas de calor dependen de tantos factores que es casi imposible

discernir qué porcentaje de estos cambios se deben solo al aislamiento.

Por este motivo, en este proyecto se pretende realizar experimentos en prototipos de edificios que limiten todas estas variables y permitan verificar la importancia del uso de cubiertas y fachadas verdes.

Dentro de la arquitectura o construcción bioclimática, y yendo hacia un concepto de arquitectura sostenible, aparece la arquitectura ecológica, o incluso verde. En este sentido han aparecido los sistemas de integración de vegetación en edificaciones, o lo que se conoce como «arquitectura vegetada», que incluye la vegetación de cubiertas y fachadas de edificios.

Aunque tradicionalmente estos sistemas se han utilizado por motivos básicamente estéticos, hoy día se puede justificar su utilización por motivos funcionales y económicos diversos, entre ellos el ahorro energético, la durabilidad de los materiales de superficie, la mejora del clima urbano, como soporte de biodiversidad, etc. [1].

Uno de los problemas que se encuentra en nuestro país para la implantación

de esta tecnología es que ésta se ha importado directamente de países del norte de Europa, sin adaptar las especies vegetales a utilizar ni los sistemas constructivos a nuestros edificios [2].

De entre los aspectos positivos asociados a la vegetación de edificios, y concretamente en las fachadas vegetadas, destaca su aportación a la regulación térmica de edificios [3].

En general, la utilización de vegetación, de forma bien diseñada y gestionada, puede ser una herramienta útil de regulación térmica de edificios con el consiguiente ahorro energético que conlleva [4]. De acuerdo a estudios previos, ésta puede tener lugar de cuatro formas, a menudo relacionadas: actúa como aislamiento térmico, por el efecto sombra, como enfriamiento evaporativo y, finalmente, la variación del efecto que produciría el viento sobre la edificación.

Los parámetros que regulan estos mecanismos en el caso de las fachadas vegetadas son los siguientes:

- **Aislante térmico.** Densidad del follaje, efecto de barrera del viento, modificación de las características



Figura 1. Enrejados modulares y contenedores con sistema de riego.

del espacio intermedio, y, en algunos casos (p.e. muros vivos), las características del sustrato [3,5].

- **Interacción con la radiación solar (sombra).** Densidad del follaje (el número de capas) [3,6-8].
- **Enfriamiento evaporativo.** Tipo de planta, la exposición, el clima (seco/húmedo) y la velocidad del viento [3,6-9].
- **Variación del efecto del viento sobre la edificación.** Densidad y penetrabilidad del follaje, y la orientación de la fachada [5].

Con el objetivo de estudiar y verificar este funcionamiento, para fachadas vegetadas de doble piel o cortinas vegetales, para diferentes especies y en clima local, concretamente en clima mediterráneo continental, se han llevado a cabo tres acciones.

Por un lado, en la población de Puigverd de Lleida (Lleida) se han plantado cuatro especies de trepadoras diferentes. El objetivo principal de este experimento es el estudio y comparación de su capacidad para interceptar la radiación solar (efecto sombra) en clima mediterráneo continental.

Por otro lado, se ha llevado a cabo en la población de Golmés, cerca de Lleida, el seguimiento durante un año de una fachada vegetada de doble piel (o cortina vegetal), de tipo enrejado modular y glicina (*Wisteria sinensis*), con el objetivo de obtener datos reales sobre el funcionamiento de este tipo de fachada en clima mediterráneo continental.

Finalmente, con el objetivo de estudiar y medir la contribución de las cubiertas verdes a la disminución de la demanda energética de los edificios, se ha instalado una cubierta verde en un cubículo experimental disponible en Puigverd y se ha comparado su demanda energética con la de otro cubículo idéntico sin la cubierta vegetal.

*La arquitectura
vegetada se emplea por
distintos motivos,
como ahorro
energético, durabilidad
de los materiales de
superficie y mejora del
clima urbano*



Figura 2. Enrejados modulares y especies vegetales en fase de crecimiento.

Materiales y metodología

Estudio de la posibilidad de utilización de una fachada verde como fachada ventilada

Experimentación en Puigverd de Lleida

Para llevar a cabo esta experimentación, se diseñaron y construyeron cuatro enrejados modulares con estructura de perfil cuadrado de acero de 40x40x2 mm, enrejado de tipo «mallazo» de 200x200x4 mm, y pasamanos de 40x4 mm (figura 1).

La estructura tiene base en forma de L, de manera que pueda alojar un contenedor de 100x40x40 mm. El sustrato que se utilizó fue una mezcla entre sustrato universal para jardinería y tierra vegetal. La elección de las especies vegetales se hizo a partir de una lista de trepadoras adecuadas para clima mediterráneo [10]. Los criterios de selección fueron su capacidad de adaptación al clima mediterráneo continental, su rusticidad, la altura que pueden alcanzar, el tipo de apoyo que requieren, la disponibilidad en los viveros y su carácter ornamental.

De acuerdo con ello, se seleccionaron dos especies perennes y dos de caducifolias para poder comparar también su comportamiento. Las especies seleccionadas fueron hiedra (*Hedera helix*), madreselva (*Lonicera japonica*), clemátide (*Clematis sp.* «Miss Bateman», «The President») y viña virgen (*Parthenocissus quinquefolia*).

Con los cuatro módulos se montó una fachada vegetal en orientación sur, de manera que al momento de tomar los datos simulase una fachada sur de una edificación (figura 2). Se montó un sistema de riego automático mediante un programador simple y tubería de polietileno con goteros integrados de 3,2 l/h, que suministraba el agua a cada uno de los contenedores. La frecuencia de rie-

go fue semanal durante la época de invierno (10 minutos de riego) y diaria en los meses más desfavorables (15 minutos de riego).

En los primeros meses de crecimiento de las plantas se suministraron productos antilimacos (caracoles y babosas) a cada uno de los contenedores, así como fertilizante universal para ayudar y reforzar el desarrollo de las plantas.

Para la determinación de la capacidad de intercepción de radiación de cada especie se midió la iluminancia (utilizando un luxómetro) delante y detrás de la cortina vegetal (para cada especie vegetal). El 28 de julio de 2009 se realizaron dos lecturas de iluminancia cada hora, desde las 9 hasta las 21 horas. A partir de las 17 horas los datos no se tuvieron en cuenta, ya que el sol se situó lateralmente y detrás de la fachada. Estos datos permiten calcular un valor aproximado del factor de sombra de cada especie (cociente entre la iluminancia promedio y la exterior).

Experimentación en Golmés

El pueblo de Golmés está situado a cota 276 sobre el nivel del mar dentro de la comarca del Pla d'Urgell, a unos 25 kilómetros de Lleida. El edificio del antiguo Casal Parroquial (actual teatro Lo Casal), una edificación de los años cincuenta (figura 3), fue rehabilitado en 2007, situando sobre el mismo un sistema de fachada vegetada.

El edificio tiene la fachada principal orientada al noroeste y la posterior a sureste. Las fachadas laterales están orientadas a suroeste y noreste. La fachada vegetada supone la cobertura de las fachadas principal (noroeste), posterior (sureste) y lateral a suroeste.

Para hacer el seguimiento de la fachada se establecieron 11 puntos de medida, diez entre las fachadas del edificio y la fachada vegetada (dos en la fachada principal noreste, cinco en la fachada la-



Figura 3. Vistas exteriores del teatro Lo Casal de Golmés.

teral suroeste y tres en la fachada posterior sureste) y otro en el exterior delante de la fachada suroeste. Se tomaron datos semanalmente (siempre a las 14 horas, aproximadamente) de iluminancia, temperatura y humedad relativa en el espacio intermedio y en el exterior, temperatura superficial de las fachadas del edificio y la estimación de la velocidad del viento en el exterior según la escala de Beaufort.

Medida de la contribución de las cubiertas verdes en la demanda energética en los cubículos disponibles en Puigverd de Lleida

La Universidad de Lleida tiene en la localidad de Puigverd de Lleida una instalación experimental en la que se evalúa la eficiencia energética de distintos sistemas constructivos. Dicha instalación consta de diferentes cubículos de dimensiones interiores de 2,4x2,4x2,4 metros. En uno de esos cubículos se instaló una cubierta vegetada para analizar su comportamiento térmico, comparándola con otros cubículos de iguales características pero sin la cubierta vegetada.

El tipo de cubierta construido fue de tipo extensivo, y en este caso se imple-

mentó en condiciones de mínimos y en clima mediterráneo continental, ya que, además del efecto que tiene como sistema pasivo de ahorro de energía, se ha observado también el comportamiento de las plantas en estas condiciones tan extremas (figura 4).

La cubierta vegetada esta formada por las siguientes capas y materiales:

- **Vegetación.** Sedum sp.
- **Sustrato.** Sustrato ligero para jardinería. Capa de 4 cm de grosor.
- **Capa drenante.** Grava volcánica. Capa de 5 cm de grosor.
- **Capa impermeabilizante.** Lámina impermeabilizante Soprema, lámina flexible de impermeabilización constituida por una armadura de fibras de poliéster y de betún elastómero. La masa bituminosa contiene agentes antirraíces que impiden la penetración de raíces en el complejo impermeabilizante. La cara inferior está cubierta por un film termofusible y la cara superior está protegida por una autoprotección mineral.

No se instaló ningún sistema de riego automático, llevándose a cabo un riego semanal de soporte, manual y con man-



Figura 4. Vista del cubículo durante la instalación de la cubierta verde.

guera. Las semanas en las que hubo precipitaciones no se regó.

Para analizar el comportamiento térmico de los cubículos con y sin cubierta verde, se registraron temperatura de pared (este, oeste, norte, sur interior, sur exterior, cubierta y suelo), temperatura ambiente interior (a una altura de 1,5 metros), humedad del aire interior, flujo de calor en la pared sur (interior y exterior), radiación solar, temperatura ambiente exterior, humedad del aire exterior y velocidad del viento.

Todas las temperaturas de pared se midieron con sensores Pt-100 DIN B, calibrados con un error máximo de $\pm 0,3$ °C. Los sensores de humedad y temperatura ambiente empleados fueron Elektronik EE21FT6AA21, con una precisión de ± 2 %. Los sensores de flujo de calor eran Huksflux HFP01, con una precisión de ± 5 %. Para la medida de la radiación solar se utilizaron solarímetros Middleton Solar SK08. También se disponía de una estación meteorológica para medir la temperatura y la humedad ambiente, así como la velocidad del aire. Finalmente, todos los datos se registraron con un sistema STEP DL01-CPU conectado a un ordenador.

Resultados y discusión

Estudio de la posibilidad de utilización de una fachada verde con una fachada ventilada, como nueva solución constructiva

Experimentación en Puigverd de Lleida

El primer resultado que se ha evaluado es el desarrollo de las plantas. Las plantas han aguantado bien durante los meses de crecimiento, aunque éste no ha sido el esperado. Las causas más probables pueden ser:

- La situación del experimento, ya que al estar en un campo abierto, las plantas han sufrido la rigurosidad del clima mediterráneo continental con toda su intensidad, haciendo una especial mención a los fuertes vientos fríos del invierno. En una situación más resguardada como la que correspondería si estuvieran situadas paralelas a una fachada de edificio, su crecimiento sin duda hubiera sido superior.
- El hecho de estar plantadas en contenedores y no directamente al suelo las hace mucho más vulnerables.
- Al mezclar el sustrato con tierra ve-

getal, esta última llevaba un alto contenido de arcilla y ha compactado en exceso el sustrato en el que han crecido las plantas.

Las plantas que mejor se han desarrollado en altura han sido las dos perennes (hiedra y madreselva), aunque dejan zonas con menor densidad de follaje [10]. La parra virgen es la que proporciona mayor densidad de follaje, aunque ha tenido dificultades para crecer en altura en la estructura de enrejado modular.

Finalmente, las que han mostrado un peor crecimiento han sido las clemátides, hecho previsible teniendo en cuenta las condiciones de exposición y que de las cuatro es la especie más sensible al clima mediterráneo continental [10]. En primavera es la que mostró un crecimiento más interesante, pero al llegar los primeros calores fuertes sufrió mucho y perdió numerosas hojas. En ese momento el crecimiento se detuvo.

Los datos tomados para medir la capacidad de intercepción de la radiación, el 28 de julio de 2009, se resumen en la figura 5. En ella se puede observar que tres de las especies, la parra virgen (caduca), la madreselva (perenne) y la hiedra (pe-

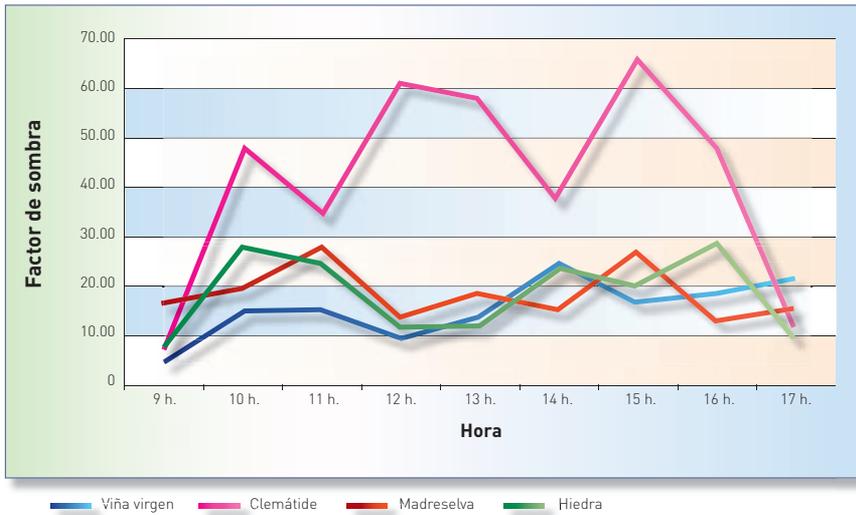


Figura 5. Factor sombra de diferentes especies de trepadoras en clima mediterráneo continental. Puigverd de Lleida. Julio 2009.

Tabla 1. Factores de sombra promedio medidos en la experimentación

Especie	Factor de sombra promedio diario
Viña virgen	0,15
Madreselva	0,18
Clemátide	0,41
Hiedra	0,20

renne) no superan en ningún momento del día un factor de sombra del 0,3. Este dato es comparable con los mejores valores que se pueden obtener para fachadas sur empleando obstáculos de fachada como los que plantea el *Código técnico de la edificación* [10].

En cuanto a las clemátides, los datos no son tan favorables como en el resto de las especies, dado su menor desarrollo, con valores del factor sombra en las horas punta del día que oscilan entre el 0,35 y el 0,65. La parra virgen es la especie que ofrece una mayor densidad de follaje, hecho que se traduce en un factor de sombra inferior a las otras plantas.

Los valores promedio diarios del factor de sombra calculados para cada una de las especies son los que se presentan en la tabla 1.

Experimentación en Gollmés

En la figura 6 se presenta la evolución mensual de la iluminancia medida en el espacio entre la cortina vegetal y la fachada del edificio (espacio intermedio) para las tres orientaciones, y la medida en la exterior. También se ha incluido la evolución del valor para toda la fachada vegetada, que tiene en cuenta las tres orientaciones que están en contacto con el aire en el edificio.

Se constata una dinámica diferente en las tres fachadas, siendo la fachada suro-

este la más representativa del efecto sombra producido por la cortina vegetal. Este hecho es consecuencia de la hora en que se tomaron las medidas, a mediodía.

En la fachada sureste se observan incluso incrementos de la iluminancia en la época de follaje, consecuencia de la entrada de sol directo por la parte superior, debido a la posición muy vertical del Sol y a que la separación de la estructura metálica es mayor que en las otras dos fachadas. Este hecho hace notar la importancia de la distancia de separación entre la cortina vegetal y la pared de fachada, así como el mismo diseño de la cortina para evitar entradas verticales del Sol en verano.

La fachada noroeste recibe poca intensidad lumínica al mediodía, por lo que sus valores son bajos todo el año, pero se verifica igualmente el efecto sombra en los meses de mayor follaje.

En la figura 7 se muestra la transmisión lumínica o factor sombra, calculado como el cociente entre la luminancia en el espacio intermedio y la iluminancia exterior, para las diferentes orientaciones y para el total de la fachada.

Se observa que para el total de la fachada vegetada los valores en la época del follaje oscilaron entre 0,05 en julio y

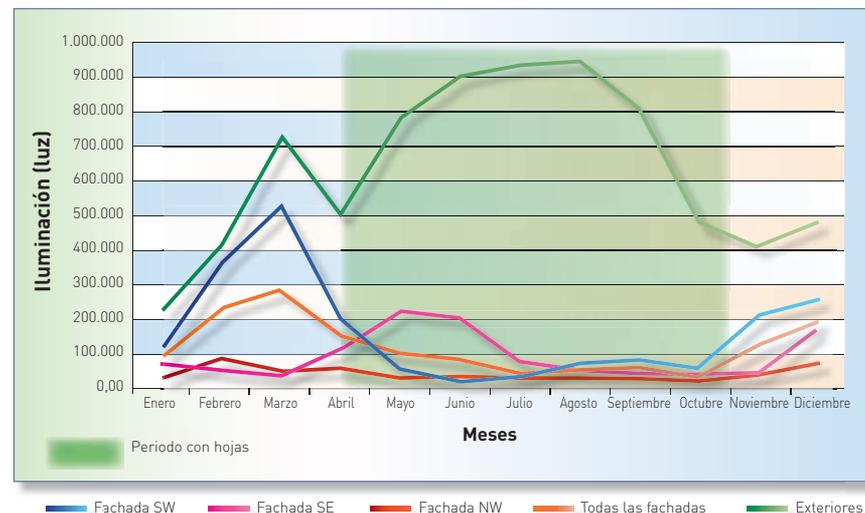


Figura 6. Iluminancia mensual por orientaciones. Teatro Lo Casal de Gollmés. 2009.

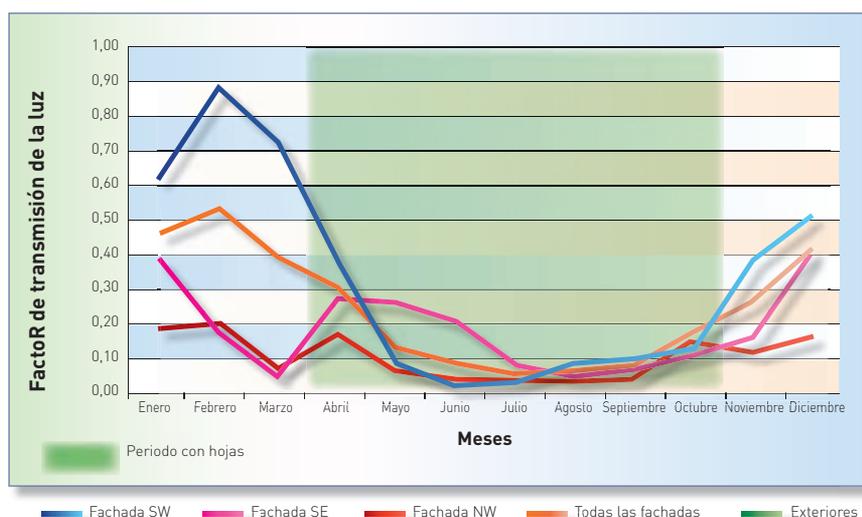


Figura 7. Factor de sombra por orientaciones. Teatro Lo Casal de Gelmés. 2009.

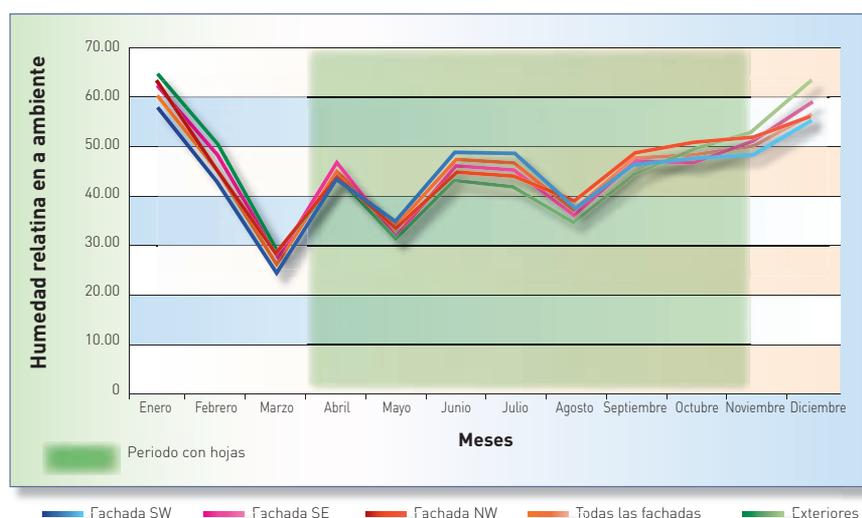


Figura 8. Humedad relativa por orientaciones. Teatro Lo Casal de Gelmés. 2009.

0,30 en abril. En la época sin hojas los valores se movieron entre 0,26 en noviembre y 0,54 en febrero.

Es importante tener en cuenta que, por la posición del Sol en la hora en que se tomaron las medidas, es en la fachada suroeste donde los resultados son más ajustados a las posibilidades reales de interceptar radiación luminosa por parte de la cortina vegetal. Entonces los valores son de entre 0,03 en julio a 0,37 en abril, con el follaje desarrollado, y de entre 0,38 a 0,88 en la época sin hojas.

Estos valores son comparables a los que proporcionan los obstáculos artificiales propuestos en el *Código técnico de la edificación* con el propósito de proveer de sombra a los huecos de la edificación, siendo los valores extremos para fachadas sureste y suroeste de 0,16 a 0,98 para voladizos, de 0,23 a 0,83 para los retranqueos, de 0,39 a 0,61 en el caso de los toldos opacos y de 0,42 a 0,81 para los toldos traslúcidos. En el caso de las lamas, los valores oscilan entre 0,26 y 0,54 para las horizontales

Para el experimento de Puigverd de Lleida se construyeron enrejados modulares sobre los que se aplicaron varias clases de plantas trepadoras adecuadas para clima mediterráneo

y entre 0,30 y 0,56 para las lamas verticales [11].

En la figura 8 se presenta la evolución de la humedad relativa ambiental. De forma general para todas las orientaciones, se observa que durante los meses con hojas la humedad relativa del espacio intermedio entre la cortina vegetal y la pared del edificio fue superior a la humedad relativa exterior.

Esta diferencia creció a medida que se iba desarrollando el follaje, siendo este efecto muy evidente en la fachada suroeste, alcanzando máximos de hasta el 7% de diferencia en el mes de julio.

En el periodo sin hojas, la humedad relativa en el espacio intermedio fue inferior en todas las orientaciones, siendo también la fachada suroeste en la que el efecto fue más evidente, con diferencias máximas en diciembre de aproximadamente el 8%.

En la figura 9 se muestran los datos de la temperatura ambiental. Se verifica que, en general, durante el periodo sin hojas los valores de la temperatura en el espacio intermedio fueron superiores que la temperatura ambiental exterior, mientras que en el periodo con hojas, la temperatura intermedia fue inferior a la exterior.

Por orientaciones, este efecto es especialmente evidente en la fachada suroeste. En esta fachada se alcanzaron en el espacio intermedio diferencias de temperatura de 1,36 °C inferiores en julio

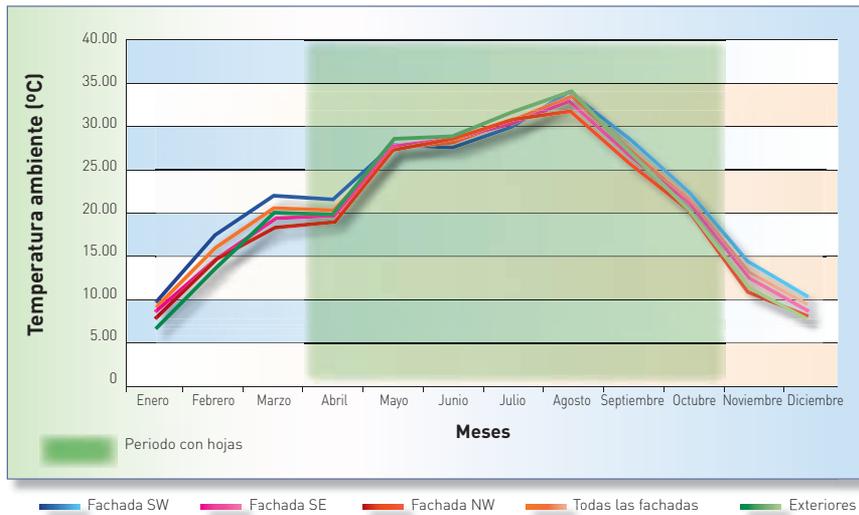


Figura 9. Temperatura ambiental por orientaciones. Teatro Lo Casal de Golmés. 2009.



Figura 10. Temperatura superficial por orientaciones. Teatro Lo Casal de Golmés. 2009.

respecto de la temperatura ambiental exterior. Por otro lado, destaca el efecto en invierno, con temperaturas de hasta 3,8 °C superiores en el espacio intermedio con respecto a la temperatura exterior.

Este efecto, combinado con los datos de la humedad, confirma que el aire del espacio intermedio se modifica, creando un microclima donde las condiciones ambientales son en invierno (periodo sin hojas) de mayor temperatura y menor humedad relativa, y durante el

verano (periodo con hojas) de mayor temperatura y menor humedad.

En la figura 10 se presentan los datos obtenidos de la temperatura superficial en la fachada del edificio para las diferentes orientaciones, y en un punto exterior de la fachada suroeste en el que no incide la sombra de la cortina vegetal. Aunque no se dispone de los datos de todos los meses, de los datos disponibles se desprende que, en general, la temperatura superficial en una zona sin sombra fue de media, aproximadamen-

En el ensayo de Golmés se cubrió un edificio con fachada vegetada y se establecieron 11 puntos para medir factores como iluminancia, temperatura (interior y exterior) y humedad

te, 5,55 °C más elevada que en las áreas cubiertas parcialmente por vegetación.

En agosto, la temperatura superficial de la fachada suroeste registró diferencias de temperatura de hasta 12,64 °C entre la parte soleada y la zona con sombra.

En el periodo sin hojas, y a consecuencia de la hora en que se toman las medidas, con el Sol incidiendo en la fachada suroeste, la que mayor temperatura superficial registró fue esta fachada, seguida de la sudeste, que recibe el Sol de la mañana, y la que menos la noroeste, más sombría y que recibe el Sol de la tarde.

En el periodo con hojas destaca el efecto sombra que produce la vegetación, que a medida que se va desarrollando igualó los valores de la orientación suroeste con los que se obtendrían en la orientación noroeste.

Por el contrario, en la fachada sudeste aumentaron los valores respecto de las otras dos fachadas como consecuencia de la posición del Sol, que propiciaba entradas de sol directo por la parte superior que incidían directamente en la pared del edificio.

El crecimiento, así como el ciclo anual de las plantas, son factores clave para garantizar la funcionalidad de las fachadas vegetadas. A pesar de la variabilidad que supone el trabajo con organismos vivos, éstos siempre siguen unas pautas bastante constantes, tanto en relación al desarrollo general como en los ritmos anuales y estacionales. Estas pautas sin em-

bargo son propias de cada especie y más variables en función del clima en el que la planta se ubica. Por lo tanto, es importante ir recopilando información sobre estos comportamientos para poder prever y mejorar los resultados.

Hay tres aspectos que afectarán al funcionamiento de la fachada vegetada y que hay que tener presentes: la superficie de fachada ocupada, el modelo de crecimiento y la estacionalidad del follaje, es decir, el ciclo anual de la caída y aparición de las hojas.

Del análisis de la superficie ocupada por las plantas en la fachada suroeste de Lo Casal de Golmés se observa que durante los tres primeros años las glicinas, en clima mediterráneo continental, evolucionaron de la forma que se presenta en la tabla 2.

Las glicinas han presentado un crecimiento vertical muy rápido, correspondiente al tronco principal, y un crecimiento secundario en forma de abanico desde la base, lo que propicia la aparición de zonas sin cubrir en las partes bajas y altas de la fachada.

Medida de la contribución de las cubiertas verdes en la demanda energética en los cubículos disponibles en Puigverd de Lleida

En cuanto a la evolución de las plantas, durante los meses de junio, julio y agosto de 2009 han aguantado las condiciones extremas a las que han sido sometidas.

Tabla 2. Evolución de la superficie ocupada por las plantas en la fachada suroeste. Lo Casal de Golmés

Fecha	Superficie aproximada ocupada %
Septiembre 2007	19%
Septiembre 2008	48%
Junio 2009	62%

A pesar de ello, algunas de estas plantas han muerto, aunque seguramente no todas ellas debido de forma directa a la falta de agua y a las elevadas temperaturas a que han sido sometidas. Ambos factores han propiciado la reducción en su desarrollo, presentando un aspecto amarillento y poco vigoroso. En estas condiciones han sido muy vulnerables a otros factores como el viento o los pájaros que acudían a la cubierta.

Por otro lado, se ha constatado también la aparición de plantas herbáceas espontáneas, concretamente de la especie *Portulaca oleracea*, mala hierba asociada a los cultivos frutales que rodean la finca.

En la figura 11 se pueden observar los valores de la radiación solar, la temperatura y la humedad exterior en una de las semanas estudiadas del mes de agosto de 2009.

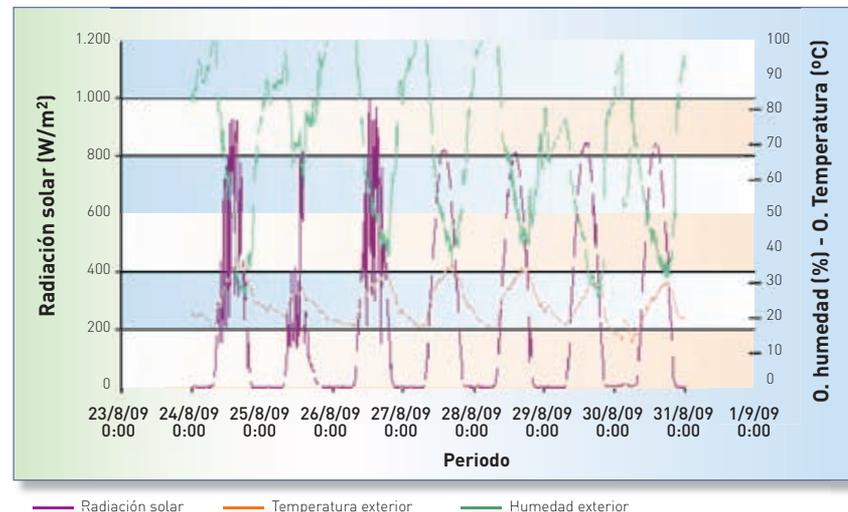


Figura 11. Datos climatológicos de la semana del mes de agosto: radiación solar, temperatura y humedad exterior.

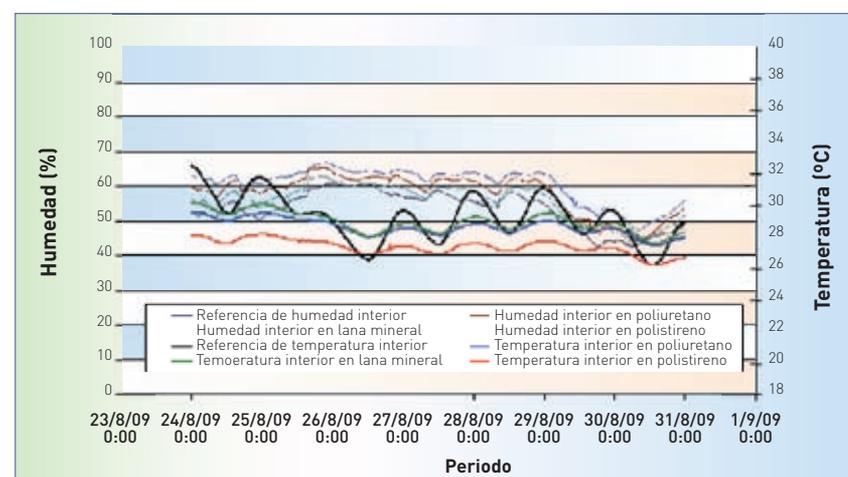


Figura 12. Semana del mes de agosto: temperatura y humedad interior.

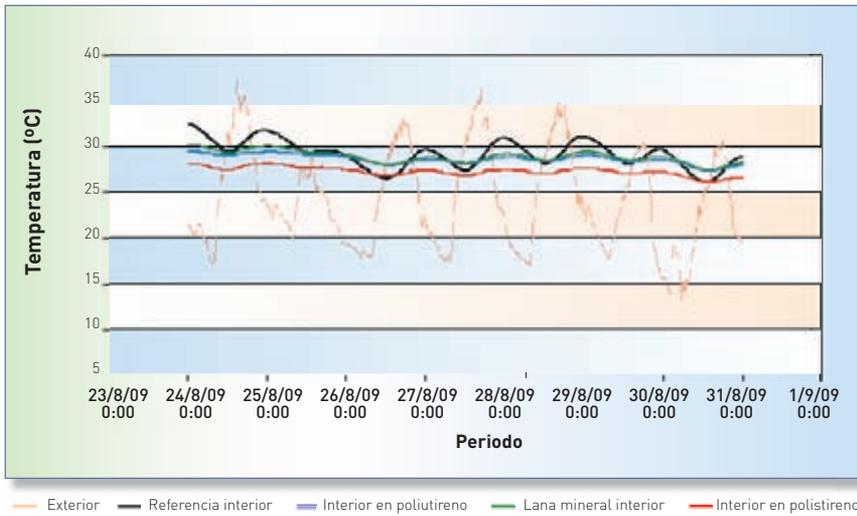


Figura 13. Semana del mes de agosto: temperatura interior y exterior.

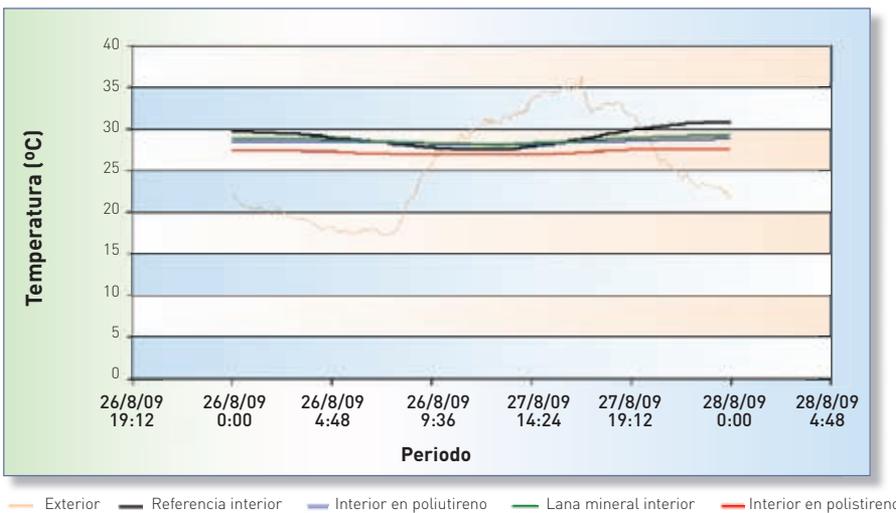


Figura 14. Semana del mes de agosto, día 3: temperatura interior y exterior.

En las figuras 12, 13 y 14 se muestran la temperatura y la humedad en el interior de los cubículos objeto de estudio en una semana del mes de agosto de 2009. El cubículo con cubierta vegetal fue el que tuvo una humedad interior más elevada (60-65%) y una menor temperatura interior (26-27 °C). La temperatura del interior del cubículo de referencia fue la que mostró mayores fluctuaciones entre el día y la noche, alrededor de unos 3 °C.

Conclusiones

En el presente trabajo se ha estudiado la arquitectura vegetada como herramienta pasiva de disminución de la demanda energética de los edificios. Se han estudiado las fachadas verdes en formato de fachada ventilada y las cubiertas verdes.

En referencia al estudio del crecimiento de las plantas, las especies que mejor comportamiento han mostrado duran-

El experimento de Puigverd de Lleida refleja que la inclusión de una cubierta verde en un cubículo aislado mejora las condiciones ambientales interiores del cubículo respecto de los de referencia

te este primer año han sido las dos perennes, la madreselva y la hiedra, sobre todo en altura. La parra virgen (caduca) ha mostrado un mejor desarrollo en cuanto a densidad de follaje, pero ha tenido dificultades para crecer en altura en el enrejado modular y ha sido necesario ayudarla mediante tutores. Finalmente, las clemátides han sido las que peor se han desarrollado, sufriendo especialmente los efectos del calor.

El análisis de la transmisividad lumínica para las diferentes especies demuestra un comportamiento comparable a los valores del factor de sombra que se especifican usando obstáculos de fachada en el *Código técnico de la edificación*, para fachadas sur. Los valores de la transmisividad lumínica a lo largo de un día de finales de julio oscilan entre 0,04 y 0,29 para las especies parra virgen (caduca), madreselva (perenne) y hiedra (perenne). Los valores de la transmisividad lumínica obtenidos para las clemátides (caduca) fueron de entre 0,07 y 0,66.

Del seguimiento del funcionamiento de la fachada vegetada del teatro Lo Casal de Golmés se concluye que con la fachada cubierta en un 60% de su superficie, la diferencia entre la iluminancia del espacio intermedio y el exterior es de unos 10.000 a 30.000 lux en los meses sin hojas (atribuible a la estructura de apoyo y a la madera). En el momento en que comienza a crecer el follaje, esta diferencia empieza a aumentar, alcanzando valores máximos de más de 80.000

lux en julio y agosto, momento en que las hojas están totalmente desarrolladas.

Los valores de transmisión lumínica obtenidos en Golmés, calculados como el cociente entre la iluminancia en el espacio intermedio y la iluminancia exterior, son comparables a los valores del factor de sombra propuestos en el *Código técnico de la edificación* para los obstáculos de fachada, con el propósito de interceptar la radiación solar que incide en las ventanas.

La humedad relativa ambiental en el espacio intermedio fue superior a la exterior en el periodo con hojas, con un máximo del 7% en julio, e inferior en el periodo sin hojas, de aproximadamente el 8% en diciembre.

La temperatura ambiental en el espacio intermedio fue inferior en el periodo con hojas (1,36 °C en la fachada suroeste en julio), y superior en el periodo sin hojas (3,8 °C en la fachada suroeste en febrero).

La temperatura superficial registrada en la pared de fachada fue de media un 5,5 °C superior en las áreas soleadas respecto de las áreas sombreadas por la cortina vegetal, llegando a alcanzar un máximo de 15,8 °C superior el mes de septiembre en orientación suroeste.

En cuanto a la superficie ocupada por las glicinas, éstas han presentado un ritmo de cobertura de la superficie de fachada del 19% el primer año de crecimiento, del 48% el segundo año y del 62%

el tercer año. En cuanto al modelo de crecimiento, han presentado un crecimiento vertical muy rápido, correspondiente al tronco principal, y un crecimiento secundario en forma de abanico desde la base, lo que propicia la aparición de zonas sin cubrir en las partes bajas y altas de la fachada.

Finalmente, en el experimento de cubiertas verdes realizado en Puigverd de Lleida se puede constatar que la inclusión de una cubierta verde en un cubículo aislado mejora las condiciones ambientales interiores del cubículo respecto de los de referencia, en cuanto a presentar temperaturas interiores inferiores y mayor humedad relativa.

En este experimento se pudo constatar que las plantas escogidas (*Sedum* sp) aguantaron bien las temperaturas extremas de verano, y con un mínimo suministro de riego. Se detectó la aparición de plantas herbáceas espontáneas, concretamente de *Portulaca oleracea*, mala hierba asociada a los cultivos frutales que rodean la finca. ♦



Agradecimientos

Este trabajo ha estado financiado por FUNDACIÓN MAPFRE (convocatoria 2008), el Ministerio de Ciencia e Innovación (proyecto ENE2008-06687-C02-01/CON) y la Unión Europea (COST Action COST TU0802). Los autores desean agradecer al Ayuntamiento de Puigverd de Lleida por su contribución y a la Generalitat de Catalunya por la acreditación dada al grupo de investigación (2009 SGR 534).

PARA SABER MÁS

- [1] Newton, J.; Gedge, D.; Wilson, S.; Early, P. (2007). Building greener – An assessment of the use of green roofs, green walls and other features on and in buildings. CIRA, London.
- [2] Briz, J. Naturación urbana: Cubiertas ecológicas y mejora medioambiental. Madrid, Mundi Prensa Libros S. A., 1999.
- [3] Köhler, M. (2008). Green facades – a view back and some visions. Urban Ecosyst 11:423-436.
- [4] Palomo del Barrio, E. (1998). Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. Energy and Buildings. 27.
- [5] Bass, B. (2007). Green roofs and green walls: Potential energy savings in the winter. Report on Phase 1. March 31 2007.
- [6] Papadakis, G.; Tsamis, P.; Kyritsis, S. (2001). An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. Energy and Buildings 33, 831-836.
- [7] Köhler, M. (2007). Rain water management with green roofs and living walls.
- [8] Miller, A.; Ip, K.; Shaw, K.; Lam, M (2007). Vegetation on building facades: «Bioshader». Case Study Report.
- [9] Schmidt, M. (2006). Energy and water, a decentralized approach to an integrated sustainable urban development. RIO6 World Climate and Energy Event.
- [10] Pérez, G. (2010): Façanes vegetades. Estudi del seu potencial com a sistema passiu d'estalvi d'energia, en clima mediterrani continental. Tesis doctoral, Universitat de Lleida.
- [11] Código Técnico de la Edificación. Ministerio de la Vivienda. 2006.