

ECO-DESIGN TOOLS TO REDUCE THE ENVIRONMENTAL IMPACT AND RAISING STRATEGIES FOR IMPROVEMENT IN THE BUILDING. GREEN ROOF

Viñoles Cebolla, Rosario; Jiménez Díaz, Patricia; Pacheco-Blanco, Bélgica;
Bastante Ceca, María José

Universitat Politècnica de València

Current environmental situation in regard to pollution in large cities , the low number of green spaces, the situation of the housing crisis , together with increased development of new green technologies and the emergence of a new movement developed out of Green Roof our borders for years , has led to added interest in sustainable architecture and cities attract more aware about environmental problems .

Then there is the design approach while taking into account the consideration of environmental factors in the design of products, processes and services and all stages of the life cycle of the same , commonly called Ecodesign .

These two aspects are the starting point for the work presented here , which has carried out an analysis of the state of the art of research and knowledge related to plant covers and facades in buildings , materials, suitable climates , species vegetable , social and environmental benefits , etc., as well as eco-design tools applicable to the reduction of environmental impact in construction, particularly in facades and roofs.

Keywords: *Ecodesign; Green Roof; Sustainable architecture*

HERRAMIENTAS DE ECODISEÑO PARA REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL Y PLANTEAR ESTRATEGIAS DE MEJORA EN LA EDIFICACIÓN. CUBIERTAS Y FACHADAS VERDES

La situación actual medioambiental en lo que respecta a contaminación en las grandes ciudades, el bajo número de espacios verdes, la situación de la crisis inmobiliaria; junto al incremento de desarrollo de nuevas tecnologías verdes y la aparición de un nuevo movimiento Green Roof desarrollado fuera de nuestras fronteras hace años, ha llevado a un mayor interés por realizar una arquitectura sostenible y generar ciudades más concienciadas por los problemas ambientales.

Por otro lado está el enfoque del diseño teniendo muy presente la consideración del factor ambiental tanto en el diseño de productos, procesos y servicios como en todas las etapas del ciclo de vida de los mismos, comúnmente denominado Ecodiseño.

Estos dos aspectos son el punto de partida del trabajo que aquí se presenta, en el cual se ha llevado a cabo un análisis del estado del arte de las investigaciones y conocimientos relacionados con las cubiertas y fachadas vegetales en edificios, materiales, climatologías adecuadas, especies vegetales, beneficios sociales y ambientales, etc., así como de las herramientas de ecodiseño aplicables a la reducción del impacto ambiental en la edificación, concretamente en fachadas y cubiertas.

Palabras clave: *Ecodiseño; Cubiertas y fachadas verdes; Arquitectura sostenible*

Correspondencia: Universitat Politecnica de Valencia. Dpto. Proyectos de Ingeniería. Camino de Vera s/n. Edificio 5J. 2ª planta.

1. Introducción

El creciente interés por introducir valores medioambientales en los diseños que rodean a una sociedad con un desarrollo socioeconómico en decadencia, debido a los hábitos en exceso, y que apuesta por la evolución hacia un desarrollo sostenible, ha suscitado nuevas técnicas constructivas en la arquitectura con el calificativo de ecológico.

Este es el caso de las cubiertas y fachadas vegetales. Una estrategia constructiva por parte del sector arquitectónico para reducir el impacto ambiental en la etapa de uso del edificio, disminuyendo el consumo energético del mismo. Pero como ocurre en algunos sectores, la palabra “ecológico” o “sostenible” en ocasiones conlleva connotaciones de “tendencia” o “moda pasajera” causado por la corriente ecológica presente durante años en la sociedad, creando una desconfianza de la verdadera existencia de esta técnica.

Por ello se establece la Arquitectura Sostenible y el Ecodiseño como las dos áreas de partida para el estudio de los beneficios que hasta el momento aporta esta técnica constructiva tanto en la sociedad como en la etapa de uso del propio edificio.

2. Objetivos

El repentino crecimiento de las ciudades y áreas urbanas conlleva importantes impactos y riesgos para la sostenibilidad urbana. Según la Organización Mundial de la Salud, *“la contaminación atmosférica constituye un riesgo medioambiental para la salud y se estima que causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo, y si la contaminación por partículas en suspensión (PM10) se reduce de 70 a 20 microgramos por metro cúbico pueden evitarse el 15% de las muertes relacionadas con la calidad del aire.”* (OMS, 2011).

Otra preocupación ha sido el constante aumento de las temperaturas urbanas, concepto llamado islas de calor, ocasionada por la absorción de calor de los materiales utilizados en las ciudades. En general, en la época de verano las islas de calor aumentan la demanda de aire acondicionado, los niveles de contaminación del aire (particularmente el smog), y las emisiones de gases con efecto invernadero. También aumentan la incidencia de enfermedades y muertes relacionadas al calor (EPA, 2010).

Uno de los beneficios otorgados a las cubiertas y fachadas vegetales es la capacidad de disminuir ese efecto isla de calor, ocasionado en las ciudades, debido a que la vegetación enfría las áreas próximas por incrementar la evapotranspiración, un proceso natural que dispersa el calor por la evaporación de la humedad en las hojas.

Verificar y profundizar en este y otros beneficios asociados a dicha técnica constructiva, que durante años se ha implantado en el resto del mundo pero hace relativamente poco ha llegado a España, es el objetivo principal del presente artículo. Además de situarla lejos del calificativo tendencia pasajera maquillada de buen marketing debido al movimiento sostenible.

3. Marco contextual

El hecho de que uno de los puntos de partida sea la Arquitectura Sostenible se debe a que la práctica de cubiertas y fachadas vegetales está incluida en la arquitectura bioclimática, que busca una reducción global de las necesidades energéticas de las edificaciones aprovechándose principalmente de las condiciones climáticas y del entorno, a través de un correcto diseño.

El ecodiseño, por consiguiente, es una metodología de diseño, complementaria en las metodologías de procesos, productos y/o servicios, cuyo principal objetivo es reducir el

impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida, desarrollando productos eficientes con el medio ambiente sin contrarrestar valor a las características funcionales, técnicas, económicas de un producto/servicio.

El ciclo de vida se refiere a las etapas que debe llevarse a cabo para realizar un producto, en el caso de la edificación, se contemplan la extracción de materiales, procesamiento de los materiales o fabricación de los componentes utilizados, distribución, construcción y montaje, uso y mantenimiento, y fin de vida. A cada una de estas etapas se le asocia una serie de cargas ambientales y categorías de impacto.

La norma ISO 14001 define la carga o aspecto ambiental como “elemento de las actividades, productos o servicio de una organización que puede interactuar con el Medio Ambiente”, por tanto se encuentra asociado directamente al producto. Como son el consumo de materiales, sustancias peligrosas, agua, energía, emisiones, residuos peligrosos y no peligrosos, vertidos, ruido y deterioro de aspecto visual. Mientras que el impacto ambiental se refiere a “cualquier cambio en el Medio Ambiente, sea adverso o beneficioso, resultante en todo o en parte de las actividades, productos y servicios de una organización, por lo cual directamente vinculado al Medio Ambiente”. Entre los que se encuentra: efecto invernadero, disminución de la capa de ozono, eutrofización, acidificación, smog fotoquímico, ocupación del suelo, agotamiento de agua potable, disminución de recursos naturales, agotamiento de energía no renovables, contaminación del suelo, pérdida de la biodiversidad, etc.

Su aplicación en la edificación es una tarea complicada, dado que el ciclo de vida completo de un edificio depende de determinados elementos difíciles de ponderar, como las variables espaciales y temporales, así como la estructura propia del sector, donde los actores intervinientes son múltiples y variados (Arenas, 2007). Es por ello que resulta complejo elaborar un análisis completo del edificio, además la realización in situ incrementa su dificultad de análisis.

Pero en el mercado, tanto nacional como internacional, existe una amplia gama de herramientas, software y sistemas de evaluación de la sostenibilidad de un edificio. Por ejemplo a nivel Europeo se encuentra Breeam (Reino Unido), HQE (Francia), Verde (España), ITACA (Italia), Promise (Finlandia) o Lider A (Portugal). Mientras que a nivel mundial los más conocidos son LEED (USA), CASBEE (Japón), GBTool (Canada) o NABERS (Australia). Una peculiaridad de su uso, aparte de poder actuar y plantear estrategias de mejora, tras estudiar el impacto que generan en el medio ambiente, es que también expone de manera clara y visual a los agentes involucrados que definen la construcción sostenible de un edificio frente a otra, pudiendo comparar los resultados y elegir con una mayor información.

Uno de los mayores problemas de los hogares españoles es el consumo energético. Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2011) el 26% del consumo energético del país se efectúa en los hogares, representando la calefacción un 32%, un 26% para el agua caliente y un 34% para aparatos eléctricos. Aunque se ha producido una caída de alrededor de un 4% en el consumo energético durante el 2011 con respecto a las cifras del año 2010 los valores de consumo siguen siendo elevados, en menos de 15 años el consumo total de energía por los hogares ha crecido 33%. Asociado a dicho consumo se encuentran las emisiones de gases invernadero, en concreto los CO₂. En 2011, estas emisiones disminuyeron un 16,4% respecto al año anterior siendo estos valores un 21,3% superiores a los de 1990 (MAGRAMA, 2013).

Según la Encuesta de Presupuestos Familiares publicada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en el año 2012 (INE, 2013), los hogares españoles destinaron el 32,3% de su presupuesto (9090 €) a gastos relacionados con la vivienda (que engloban gastos de agua, electricidad, gas, comunidad, reparaciones, calefacción).

Por ello, el trabajo que aquí se presenta, fruto del Trabajo Fin de Master de uno de los autores (Jiménez, 2010) se centra en la etapa de uso y mantenimiento del edificio. Tras la investigación de un gran número de medidas planteadas dentro del bioclimatismo, la limitación del consumo energético, la habitabilidad y el ahorro y gestión del agua, se ha comprobado que el elemento de estudio, la cubierta y fachada vegetal, está presente en cada una de ellas para obtener un beneficio específico.

El bioclimatismo, define el comportamiento higrotérmico como el que mayor consumo energético genera, debido a la transferencia de calor entre el interior y el exterior del edificio (Neila, 1997). Por ello, el recubrimiento vegetal tanto en fachadas como en cubiertas reduce el sobrecalentamiento ocasionado en las condiciones de verano. Influyendo en la demanda energética, necesaria para mantener el interior del edificio en condiciones de confort.

El bienestar, calidad total del ambiente o confort, es el conjunto de factores ergonómicos que se refieren a la calidad del ambiente térmico, del aire, acústico y luminoso. Ante estos estímulos el organismo reacciona mostrando su grado o malestar (Neila et al., 2004). Las medidas de habitabilidad encontradas, hacen referencia a la protección frente la humedad y ruido. A través de recubrimiento vegetal, se puede prevenir la humedad dentro de la vivienda, siempre y cuando sean mantenidas de forma constante para comprobar la inexistencia de grietas. Además actúa como aislante acústico, ya que la vegetación absorbe las ondas del sonido.

Por último, dentro de las medidas para el ahorro y la gestión del agua, se plantea las cubiertas vegetales como un elemento que potencia la infiltración de las aguas pluviales para reducir así las cantidades de agua que por escorrentía superficial son recogidas por la red de alcantarillado. Además de la reutilización de las aguas pluviales.

4. Las cubiertas vegetales

Hoy en día las cubiertas vegetales representan el 10 % de todos los techos en Alemania, y un número de países y ciudades europeas fomentan fuertemente las nuevas construcciones que incorporan estas tecnologías (Koonce, 2010). Es más, algunas leyes de edificación exigen la construcción de cubiertas vegetales en muchos centros urbanos (Köhler, 2003). En Asia, Japón se ha convertido en un centro de tecnología de cubiertas vegetales. Su capital, Tokio, es la primera ciudad donde el mandato de construir cubiertas vegetales constituye el 20 % de todas las construcciones nuevas (Wark, C.G et al., 2003). En el Norte de América, la red de organizaciones públicas y privadas sin ánimo de lucro, Green Roofs for Healthy Cities (GRHC), recoge, que a pesar de la grave recesión económica del año anterior, la industria de cubiertas vegetales creció un 16,1%, en el transcurso de 2009.

En España, en cambio la primera cubierta vegetal fue construida en 1994, y se realizó dentro de un proyecto de investigación para analizar las ventajas de esta técnica frente a las de un recubrimiento convencional. Fue llevado a cabo por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid con el asesoramiento de la Universidad Humdolt de Berlín.

4.1. Tipologías de cubiertas vegetales

Las cubiertas vegetales pueden clasificarse en dos tipologías, dependiendo del sustrato, del tipo de vegetación y del mantenimiento.

- Las **cubiertas vegetales extensivas**, llamadas generalmente cubierta ecológica, se caracterizan por tener una capa vegetal de pocos centímetros de espesor, alrededor de unos 10 cm, con plantas de bajo porte generalmente autóctonas muy resistentes a las condiciones ambientales externas, con abastecimiento de agua y sustancias nutritivas por procesos naturales. La carga que puede soportar la cubierta ronda los 100 kg/m².

- Las **cubiertas vegetales intensivas**, o cubiertas ajardinadas, tienen un sustrato de mayor espesor, más de 20 cm, la vegetación suele ser plantas, árboles y arbustos de mayor altura que requieren de un mantenimiento más elevado, típico de cualquier jardín. La carga que puede alcanzar oscila entre 700 y 1200 kg/m², lo que llevará a un dimensionamiento mayor y caro de la estructura.

4.2. Elementos de las cubiertas vegetales

En general estas cubiertas vegetales se montan sobre cubiertas planas, al igual que las estructuras verticales. A continuación se mencionan las diferentes capas que componen un elemento básico de cubierta vegetal, en orden ascendente, es decir desde la superficie del edificio hacia fuera. Evidentemente estas pueden variar en función del diseño del sistema constructivo.

- **Soporte estructural:** elemento fundamental que garantiza la integridad de la cubierta y una consecuente protección al edificio. Se encarga de soportar todo el peso del sistema.
- **Membrana impermeable:** proporciona estanqueidad a la cubierta. Puede estar constituida por una sola lámina o por varias unidas entre sí para formar una membrana compleja que aporte una mayor estanqueidad. Según el origen de la materia prima se pueden clasificar como: bituminosas (oxiasfalto, betún modificado con elastómeros, alquitrán modificado con PVC) o sintéticas (PVC, PEC, PIB). Las más frecuentes son de betún modificado o de láminas sintéticas de PVC.
- **Protección de la impermeabilización contra raíces:** permite una alta resistencia a la perforación que puede ocasionar el crecimiento de las raíces. Además suele incorporar una lámina con propiedades anti-raíz.
- **Aislamiento Térmico:** esta capa puede aparecer o no; dependerá de las necesidades térmicas propias de lugar. Además el tipo de materiales o espesor necesario será en función del valor del coeficiente de transmisión de calor, solicitado por en el Código Técnico de Edificación.
- **Capa retenedora de agua:** retiene el agua de lluvia o de riego suministrando nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Suele estar fabricada con materiales plásticos como poliestireno expandido moldeado o a base de lana de roca cohesionada con componentes químicos que confieren una gran capacidad de absorción, unos 20 L/m² frente a los 6 L/m² del material plástico. Normalmente esta capa puede ejercer función de drenaje, aislante térmico o impermeabilización.
- **Capa drenante:** evacua el agua sobrante del sustrato para que no se encharque y evitar que se pudran las raíces. Los materiales utilizados pueden ser áridos de cantos rodados, láminas sintéticas moldeadas, hilos sintéticos entrelazados o losa preformada con una capa de hormigón poroso. El espesor variará en función del sustrato.
- **Capa filtrante:** evita que los áridos finos y otros sedimentos del sustrato puedan penetrar en la capa inferior. Suele emplearse fieltro geotextil de fibra de poliéster o polipropileno.
- **Capas auxiliares:** mejoran la calidad del sistema. Destacan la capa antipunzante para proteger de daños mecánicos a la membrana impermeabilizante, la capa separadora para evitar el contacto de elementos químicamente incompatibles y la capa antiadherente para evitar que dos elementos del sistema de impermeabilización se adhieran.

- **Sustrato:** da soporte a las plantas. Puede ser orgánico o inorgánico. El más habitual es un material mineral denominado “muich” que aumenta la protección de las semillas, reduce la evaporación y conserva la humedad, reduce la erosión hídrica, modifica las temperaturas extremas de la superficie, ralentiza el flujo de agua de escorrentía y aumenta la capacidad de filtración.
- **Vegetación:** La elevada humedad, la sequía severa, las temperaturas extremas (generalmente las elevadas), la alta intensidad de luz, y la alta velocidad del viento aumentan el riesgo de deshidratación y daño físico a la vegetación y el sustrato (Dunnett y Kingsbury, 2004). Para combatir y prevenir las fluctuaciones de lluvia, se proponen plantas con hojas carnosas o globosas, que poseen la capacidad de almacenar agua, como las crasuláceas o el sedum (Lee y Kim, 1994), por el contrario las plantas con hojas planas tienen una escasa resistencia a la sequía del verano (Machado et al., 2000). Otra ventaja de las especies Sedum de bajo crecimiento es su elevada supervivencia en sustratos de capa fina, como 2 a 3 cm (VanWoert et al., 2005).

5. Beneficios del uso de las cubiertas vegetales

Los beneficios que presentan las cubiertas y fachadas vegetadas están justificados por estudios e investigaciones llevadas a cabo por diferentes expertos en la materia.

5.1. Análisis Ciclo de Vida de una cubierta vegetal

Existe poca información sobre el análisis de ciclo de vida de edificios con cubiertas vegetales. Algunas empresas y grupos de investigación españoles como Intemper y ABIO, están trabajando conjuntamente para obtener resultados cuantitativos, pero sus resultados no están publicados. En cambio, la Universidad de Toronto ha evaluado las consecuencias ambientales del ciclo de vida de un edificio residencial situado en Madrid, el cual consta de 34 viviendas con una superficie total de 3925 m² distribuidos por áreas, 12% de ventanas, 17% pared externa y 17% para la azotea (Saiz et al., 2006).

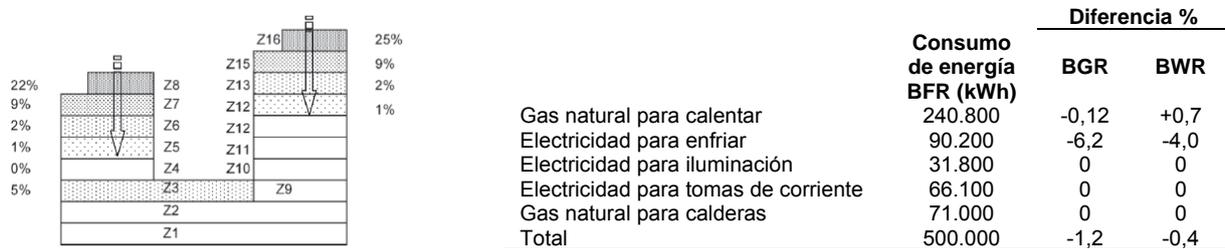
El estudio plantea dos alternativas ante la cubierta convencional plana, la cubierta vegetal (BGR) y la azotea blanca reflectante (BWR). Esta última tiene la misma conductividad térmica pero diferente absorción solar.

En el análisis del ciclo de vida realizado, con ayuda del programa informático SimaPro, se han considerado las etapas de producción de material, uso y mantenimiento. Asumiendo que la vida útil del edificio es de 50 años.

Como se puede ver en la figura 1 se concluye una reducción de 1,2 % de energía anual para una cubierta vegetal siendo 0,4% para la azotea blanca reflectante. Para los pisos superiores, la carga de enfriamiento a hora punta se reduce cerca del 25% comparado con la azotea plana común.

De acuerdo con los datos de la precipitación para Madrid estimaron que el circuito de agua gris podría proporcionar un ahorro anual del agua de 6420 m³, que era restado del presupuesto del agua en el ciclo de vida del edificio.

Figura 1. Reducción de energía de refrigeración en cubierta vegetal y Consumo anual de energía de un edificio con cubierta común y las reducciones con cubierta vegetal y blanca (Saiz et al., 2006)



Las consecuencias para el medio ambiente se reducen en todas las categorías cerca entre 1,0 y 5,3%, obsérvese en la figura 2. La mayor parte de las reducciones se encuentran en la etapa de uso. Las categorías de impacto que experimenta mayores reducciones son agotamiento abiótico y eutrofización.

Figura 2. Impactos ambientales para una construcción de 50 años de vida con cubierta vegetal (Saiz et al., 2006)

Categoría de impacto	Indicador de impacto	Δ materiales	Δ uso	Δ mantenimiento	Δ total	% cambio total
Agotamiento abiótico	ton Sb equiv.	0,02	-4,72	-0,5	-5,20	-5,0
Calentamiento global (GWP100)	ton CO ₂ equiv.	2,0	-101	-40,0	-139	-1,0
Destrucción capa de ozono	ton CFC-11 equiv.	0,00	-0,02	-0,01	-0,03	-2,4
Toxicidad humana	ton 1,4-DB equiv.	1,00	-81,0	-15,0	-95,0	-2,6
Oxidación fotoquímica	ton C ₂ H ₂ equiv.	0,00	-0,06	-0,02	-0,08	-2,7
Acidificación	ton SO ₂ equiv.	0,00	-0,96	-0,29	-1,25	-2,1
Eutrofización	ton PO ₄ equiv.	0,00	-0,13	-0,01	-0,14	-5,3
Ecotoxicidad agua dulce	ton 1,4-DB equiv.	0,06	-6,00	-0,40	-6,34	-2,7
Ecotoxicidad agua de mar	10 ³ ton 1,4-DB equiv.	0,00	-211	-4,00	-215	-2,4
Ecotoxicidad terrestre	ton 1,4-DB equiv.	0,00	-0,35	-0,10	-0,45	-1,5

Según el estudio, se conseguiría disminuir en un 1°C la temperatura de la ciudad si el 50% de un tercio de la misma tuviera cubiertas vegetales y por lo menos el 3% estuvieran saturadas completamente de vegetación. Con lo que la carga de enfriamiento en verano de un edificio sería reducida un 33%, disminuyendo los impactos del ciclo de vida cinco veces más que lo mostrado en la figura 2.

5.2. Conductividad térmica

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid y la Universidad Politécnica de Madrid, desarrollaron un proyecto con el fin de determinar el ahorro energético que proporcionan diferentes cubiertas ecológicas con aljibe, es decir con una capa retenedora de agua, y proponer así un historial de mejoras para su exitosa implantación y conservación (Neila et al., 2008).

La cubierta de ensayo constaba de 20 módulos de 4,2 m x 4,2 m completamente aislados unos de otros y con sensores de temperatura en todas sus capas, capaces de medir la temperatura del aire de la cubierta (a 20 cm), en la superficie del sustrato, en el interior del sustrato, en las diferentes capas que lo componían, en el agua del aljibe e incluso dentro de la cámara.

Se comprobó que la conductividad térmica aumentaba a medida que la porosidad del material era menor o si el porcentaje de humedad aumentaba. En cuanto a la vegetación, el

Sedum ofrecía mayor resistencia a la sequía mientras que la Aptenia tenía un mayor poder tapizante pero con baja resistencia a las heladas. El tipo de sustrato proporcionaba ciertas características a la cubierta, por ejemplo, la corteza de pino con 10% de lodos compostados era la mejor solución para el desarrollo de la vegetación, frente a sustratos con gel que presentaban los peores resultados. La arcilla expandida reducía la temperatura gracias al mayor aislamiento otorgado. En cuanto los elementos de drenaje y/o retenedores, el sistema de aljibe era excepcional seguido de la lana de roca cohesionada, las placas sintéticas y el gel, correlativamente.

En la figura 3 se muestran los consumos energéticos tanto positivos como negativos, de las diferentes tipos de cubiertas analizadas, siendo V: vegetal; VA8: vegetación aljibe 8mm; A16: Aljibe 16mm; INV: cubierta invertida. Aquellas que combinan el sistema de aljibe y aislamiento presentan reducciones energéticas mayores.

Figura 3. Consumos energéticos comparados con una cubierta vegetal (Neila et al., 2008)

Cubierta	M2-15 V	M2-10 VA8	M1-6 A16 +aisl	M1-15 INV	M1-10 A8 +aisl	M1-14 INV	M1-7 VA16 +aisl	M1-11 VA8 +aisl	M2-6 VA8 +aisl	M2-14 V +aisl	M2-7 VA8 +aisl*	M2-11 VA8 +aisl
Reducción (%)	+65,89	+38,79	+12,87	+6,41	+5,67	0,00	-14,05	-19,38	-37,95	-46,34	-60,40	-70,65
Calent (MJ)	1448,78	1212,10	985,76	929,32	922,90	873,36	750,64	704,07	541,92	468,61	345,84	256,37

Cubierta	M2-15 V	M2-10 VA8	M1-10 A8 +aisl	M1-14 INV	M1-15 INV	M2-14 V +aisl	M2-7 VA8 +aisl*	M1-6 A16 +aisl	M2-11 VA8 +aisl	M2-6 VA8 +aisl	M1-11 VA8 +aisl	M1-7 VA16 +aisl
Reducción (%)	+42,32	+7,97	+2,90	0,00	-1,45	-2,39	-23,19	-23,91	-76,09	-78,99	-91,30	-91,30
Enfriam (MJ)	65,32	49,56	47,23	45,90	45,23	44,80	35,26	34,92	10,98	9,65	3,99	3,99

Cubierta	M2-15 V	M2-10 VA8	M1-6 A16 +aisl	M1-15 INV	M1-10 A8 +aisl	M1-14 INV	M1-7 VA16 +aisl	M1-11 VA8 +aisl	M2-6 VA8 +aisl	M2-14 V +aisl	M2-7 VA8 +aisl*	M2-11 VA8 +aisl
Reducción (%)	+61,70	+41,07	+11,03	+6,02	+5,53	0,00	-17,91	-22,97	-40,24	-46,61	-57,50	-70,70
Total (MJ)	1486,47	1296,83	1020,68	974,56	970,13	919,26	754,63	708,07	549,31	490,84	390,72	269,30

5.3. Temperatura exterior y de la superficie

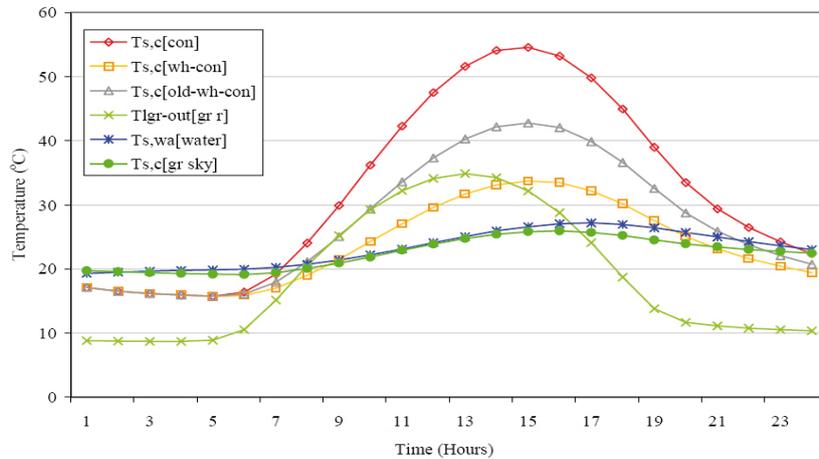
El parámetro que más se ha analizado relacionado con las cubiertas vegetales es el rendimiento térmico.

Un estudio de la Universidad de Cardiff (Eleftheri et al., 2006), evaluó dos temperaturas, la de la superficie y a un metro de ella, en seis tipos de azoteas para tres tipos de climas (mediterráneo, selva tropical y desierto). Entre las cubiertas se encontraban una de hormigón plana, una de hormigón cubierta con una capa de albedo de coeficiente elevado, una tercera con alto albedo una vez pasado tres años de su aplicación, una cubierta vegetal de 20 cm, una azotea con un pequeño lado de 20 cm de profundidad y la secta con una pérgola con vegetación de 20 cm colocada sobre hormigón.

En la figura 4, la línea roja (la curva superior) representa la primera cubierta descrita, la de hormigón, y las demás líneas son correlativas a la explicación anterior. En el caso de la temperatura superficial de la cubierta vegetal (línea representada en color verde claro), la disminución de la temperatura máxima alcanzada es 26,2°C, con un promedio al día de 14,4°C. La disminución de la temperatura es más significativa en la capa de aire sobre la azotea, alcanzando 7,3°C para el máximo y 2,7°C para el promedio del día. La disminución de la temperatura máxima de la cubierta vegetal es 3,1°C más que la disminución máxima de la temperatura del aire en la azotea del alto albedo. Debido a la sequedad del clima mediterráneo, la evapotranspiración de las plantas puede bajar la temperatura del aire a

mayores niveles que una superficie de no-transpiración, que absorbe cantidades más bajas de radiación solar.

Figura 4. Temperatura de la superficie para todas las cubiertas (Eleftheri et al., 2006)



5.4. Coste - Beneficio

A simple vista es obvio que la inversión inicial para una cubierta vegetal es mayor que el sistema usado durante años en las azoteas convencionales, pero dicha diferencia va disminuyendo a medida que avanza la vida útil de la cubierta, la cual duplica a la convencional.

Como se puede ver en la figura 5 al final de la vida útil de la cubierta vegetal el porcentaje de cambio en NPV (Net Present Value - Valor Actual Neto) está entre 20,3 y 25,2% menos que el NPV para la cubierta convencional. La inversión inicial se recupera con el tiempo cuando la cubierta convencional se reemplace (Clark et al., 2007).

Figura 5. Beneficios según el tipo de cubierta y el gasto inicial (Clark et al., 2007)

Escenario	Tipo de cubierta		Porcentaje de cambio en VAN
	Convencional	Vegetal	
Aguas pluviales medias	613.969 \$	468.366 \$	23,72
EnergyPlus, aguas pluviales medias	587.465 \$	468.366 \$	20,27
Aguas pluviales altas	619.828 \$	463.944 \$	25,15
EnergyPlus, aguas pluviales altas	593.324 \$	463.944 \$	21,81

5.5. Vegetación según climatología

Los factores limitantes a la hora de elegir el tipo de vegetación se basa en la escasez y la poca profundidad del sustrato, en los tipos de plantas perennes, y en la capacidad de extenderse horizontalmente y cubrir lo mejor posible la superficie ya que mantendrá mejor la humedad del sustrato. Además deben adaptarse a la climatología de la región geográfica donde se ubique.

Alrededor del 70 o 75% de la superficie de España puede considerarse que tiene un clima mediterráneo, es decir frío y lluvioso, durante los meses de invierno y muy cálido y seco, durante los meses de verano. Lo realmente duro para la vegetación en este tipo de clima es la fuerte sequía estival asociada a las altas temperaturas. Existe un surtido amplio de plantas resistentes a la sequía pertenecientes a las crasas o suculentas. Aunque lo más recomendado es la mezcla de diversas familias de especies que almacenen agua en sus tejidos como Sedum (Arenas, 2006).

6. Conclusión

Dentro de las cuatro fases que recoge el ciclo de vida de una tecnología (latente, emergente, crecimiento y asumida), las cubiertas y fachadas vegetales se situarían en la fase emergente direccionada hacia la tercera fase, la de crecimiento. Habiendo aún mucho trabajo por realizar para considerarla como una tecnología asumida por la sociedad.

A partir de los beneficios que generan las cubiertas y fachadas vegetales, se pueden diseccionar dos grandes líneas una social y otra tecnológica.

La línea social, engloba los beneficios que son recibidos directamente por los habitantes de las urbes, por ejemplo expandir espacios verdes por toda la ciudad para el disfrute de los ciudadanos y de los habitantes del edificio. O utilizarlos para el cultivo, concepto englobado en un término más amplio, la permacultura, cuyo eje central es el abastecimiento de energía y el cultivo de alimentos entre otros.

Una sub-línea en proceso de experimentación y que cada vez se va extendiendo un poco más es la incorporación de fachadas vegetales en el interior de las viviendas. Una de las utilidades que se atribuye es la limpieza del aire cargado a través de conductos de aire.

La línea tecnológica, se centraría en la incorporación de nuevas tecnologías para obtener nuevos beneficios, económicos como ambientales, como por ejemplo, la industrialización de los sistemas utilizados hoy día en las cubiertas y fachadas vegetales ya que la instalación de los sistemas es trabajosa y se realizan in situ.

La generación de nuevas tecnologías permite experimentar y valorar las posibilidades que se generan en combinación de unas con otras. Por ello, incorporar la hidropónia, aeropónia, o sistemas fotovoltaicos, en las cubiertas y fachadas vegetales, supondría la investigación de nuevas ventajas e incluso potenciar las ya existentes.

7. Referencias

- Arenas, F.J. (2007). *El impacto ambiental en la edificación. Criterios para una construcción sostenible*. Madrid.
- Clark, C., Adriaens, P., Talbot, B. (2008). *Green roof valuation: A probabilistic economic analysis of environmental benefits*. Environmental Science Technology, 42, 2155–2161.
- Dunnett N.P., Kingsbury N. (2004). *Planting Green Roofs and Living Walls*. Portland (OR): Timber Press.
- Eleftheri, A, Phil, J. (2006). *Ponds, green roofs, pergolas and high albedo materials; Which cooling technique for urban space?* The 23 Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 september 2006.
- EPA (Agencia de Protección al Medio Ambiente de los Estados Unidos) (2010). *Desarrollo inteligente e isla de calor urbano*. Serie de informes de Desarrollo Inteligente. Red de desarrollo inteligente. EPA -909-F-04-010.
- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) (2011). *Proyecto SECH-SPAHOUSEC Análisis del consumo energético del sector residencial en España*. Madrid.
http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Info_rme_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf Fecha última consulta: 10/04/2014
- INE (Instituto Nacional de Estadística) (2013). *Encuesta de Presupuestos Familiares Año 2012*. Madrid.
- Jiménez, P. (2010). *Herramientas de Ecodiseño para reducir el impacto ambiental y plantear estrategias de mejora en la edificación. Cubiertas y fachadas vegetales*. Trabajo Fin de Master. Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño. Universitat Politècnica de València. Valencia.

- Köhler, M. (2003). *Plant survival research and biodiversity: Lessons from Europe*. First Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show; 20–30 May 2003, Chicago.
- Koonce, W. (2010). *Green roof systems become increasingly popular in US and Europe*. Urethanes Techonology International. Vol. 27, issue 1, p. 18-21.
- Lee, K.S., Kim, J. (1994). *Changes in crassulacean acid metabolism (CAM) of Sedum plants with special reference to soil moisture conditions*. Journal of Plant Biology 37: 9–15.
- Machado, M., Britto, C., Neila, F.J. (2000). *La cubierta ecológica como material de construcción*. Informes de la Construcción. Vol. 52, nº 467, p. 15-29. 2000.
- MAGRAMA (Ministro de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) (2013). *Perfil Ambiental de España 2012, Informe basado en indicadores*. 280-13-050-3. 248-250. Madrid.
- Neila, F.J., Bedoya, C., Acha, C., Olivieri, F., Barbero, M. (2008). *Las cubiertas ecológicas de tercera generación: un nuevo material constructivo*. Informes de la Construcción. Vol. 60, nº 511.
- Neila, F.J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible: buenas prácticas edificatorias*. *Ciudades para un Futuro más sostenible*. Red de cuadernos de investigación urbanística. Madrid.
- Neila, F.J., Bedoya Frutos, C. (1997). *Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental*. Madrid. Ed. Munillalera. 978-84-89150-20-1.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2011). *Calidad del aire y salud*, Nº 313. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>. Fecha de última consulta: 15/04/2014.
- Saiz, S., Kennedy, C., Bass, B., Pressnail, K. (2006). *Comparative life cycle assessment of standard and green roofs*. Environmental Science Technology. 40(13):4312-4316.
- VanWoert, N. D., Rowe, D. B., Andresen, J. A., Rugh, C. L., Xiao, L. (2005). *Watering regime and green roof substrate design impact Sedum plant growth*. HortScience 40: 659–664.
- Wark, C.G., Wark, W.W. (2003). *Green Roof Specifications and Standards. Establishing an emerging technology*. The Construction Specifier, Vol. 56, No.8.