

ANALYSIS OF THE SUITABILITY OF GREEN ROOFS FOR THE SPANISH ATLANTIC COAST CITIES

Vigil Berrocal, M. A.¹; Mesa Fernández, J. M.²; Martínez Huerta, G.¹; Lobo Rosario, P.¹

¹ Universidad de Oviedo, ² Universidad de Oviedo. Area de Proyectos de Ingeniería

The strong potential of green roofs to integrate developments into the surrounding landscape, joint with their aesthetic and environmental benefits have created a big interest about them over the last years, which have promoted their inclusion in many architecture and engineering projects. However, the current academic literature is mainly devoted to promote their construction without discussing the real benefits that they might provide to an actual situation. This research analyses and discusses their environmental, economic, climatic and aesthetic benefits to an actual context, the Spanish Atlantic cities, featured by specific climatic conditions, mainly mild temperatures and constant and plentiful rainfall, as well as their urban grain and building typology. Such analysis will have a holistic approach regarding the whole life cycle for every construction system.

Keywords: *Green roofs; Urban hydrology; Architecture; Urban heat island*

ANÁLISIS DE IDONEIDAD DE LAS CUBIERTAS VEGETALES EN LAS CIUDADES DEL ARCO ATLÁNTICO ESPAÑOL

La alta capacidad de las cubiertas ajardinadas para la integración de construcciones con su entorno, sus beneficios medioambientales y su potencial estético han generado un gran interés sobre éstas en los últimos años, siendo propuestas e incluidas en numerosos proyectos de arquitectura e ingeniería. No obstante, la literatura académica actual se ha dejado llevar por el entusiasmo y está principalmente dedicada a promover su construcción y en raras ocasiones cuestiona las ventajas reales que proporcionan. Esta investigación analiza y cuestiona los beneficios medioambientales, económicos, climáticos y estéticos que las cubiertas ajardinadas proporcionan en un contexto concreto como son las poblaciones urbanas del arco Atlántico Español, caracterizadas por sus específicas condiciones climáticas, temperaturas moderadas con abundante precipitación, y la tipología de los edificios que las pueblan. Todo ello desde un punto de vista global con una aproximación que contempla el ciclo de vida total de las construcciones

Palabras clave: *Cubiertas ajardinadas; Hidrología urbana; Arquitectura; Isla urbana de calor*

1. Introducción

Una cubierta ajardinada se define como cualquier espacio vegetado abierto, concebido para proporcionar uso humano o mejoras ambientales, que es separado de la tierra por un edificio u otra estructura. Éste puede situarse debajo, a nivel o sobre el suelo (Osmundson, 1999).

Las cubiertas vegetales se clasifican en tres tipos dependiendo de los usos que van a alojar y del tipo de plantación y materiales que “contienen”:

- Extensivas, son aquellas que no están dirigidas a ser utilizadas por las personas e incluso pueden no ser observadas regularmente. En este tipo de cubiertas las plantas son tratadas como masas.
- Intensivas, son aquellas en las que es esperable ser utilizadas para uso humano como si de un jardín convencional se tratara. En estas cubiertas las plantas son mantenidas de forma individual del mismo modo que si estuviesen localizadas a nivel del suelo. Generalmente llevan una capa de tierra vegetal de al menos 15 cm aunque también puede incluir otros medios de crecimiento ligeros.
- Semi-extensivas, son aquellas cubiertas por céspedes o plantas tapizantes pero que aún precisan de mantenimiento regular. La capa de substrato es menos profunda y por lo tanto su instalación es menos costosa. Pueden permitir el acceso aunque generalmente están dirigidos a ser simplemente observados. (Dunnett & Kingsbury, 2004)

Desde su aparición en Alemania en los años 80, las cubiertas vegetales han ido ganando popularidad a nivel mundial rápidamente, especialmente en los Estados Unidos y en el Reino Unido, debido a los potenciales beneficios estéticos, ambientales y económicos que pueden proporcionar, muy especialmente en ámbitos urbanos.

Sin embargo, cabe pensar que la literatura especializada, científica y de divulgación, podría haber pecado de excesivo entusiasmo y haberse concentrado en demasía en la promoción de sus bondades en lugar de analizar su idoneidad para los distintos contextos geográficos en los que podrían no observarse beneficios substanciales debido a sus particularidades climáticas y socioeconómicas.

Por lo tanto, esta comunicación se centra en el análisis desde una perspectiva global de los posibles beneficios que las cubiertas vegetales pueden proporcionar a las ciudades del Arco Atlántico Español y detectar en qué circunstancias su instalación maximiza sus beneficios o no proporciona verdaderos beneficios. A tal efecto, se ha procedido a una revisión exhaustiva y crítica de la bibliografía especializada en el tema.

2. Particularidades del Tejido Urbano Atlántico

El Arco Atlántico español comprende la franja norte de la Península Ibérica, extendiéndose desde la frontera con Francia hasta la frontera con Portugal.

Figura 1: Arco Atlántico Español



2.1 Morfología Urbana

La mayoría de las ciudades del Arco Atlántico tienen su origen en tiempos romanos o durante la edad media. Sin embargo, su desarrollo como urbes tuvo lugar principalmente entre los siglos XIX y XX como resultado de la industrialización. Estas ciudades tuvieron un desarrollo irregular que fue conformado por la interacción del medio físico local con los procesos industriales.

Suelen tener un centro histórico caracterizado por calles estrechas e irregulares entre edificios típicamente de 2 o 3 plantas.

Por otro lado, el centro funcional de la ciudad, donde se concentran la mayoría de los servicios administrativos y comerciales, está muy densamente habitado con bajos ratios de zonas verdes. Las edificaciones tipo en esta parte de la ciudad consisten en bloques de apartamentos de entre 7 y 8 plantas caracterizados por un uso mixto de las edificaciones que consiste en bajos comerciales a pie de calle, entresuelos con oficinas y otros usos comerciales, mientras que el resto de plantas están dedicadas a un uso residencial.

A medida que se aleja de la zona centro, en los barrios residenciales, la densidad poblacional es más reducida con edificaciones típicamente de 4 o 5 plantas y ya son frecuentes mayores ratios de cobertura de zonas verdes aunque éstos varían mucho entre zonas y ciudades.

Las viviendas unifamiliares suelen limitarse a los límites más exteriores de la franja urbana y a las zonas rurales más próximas.

Los edificios de más de 6 plantas suelen tener una cubierta plana con una pendiente mínima para drenaje mientras que los más bajos suelen poseer cubierta a dos aguas con aproximadamente 30° de pendiente. Al contrario de lo que sucede en otros puntos de la geografía española, los tejados no suelen ser libremente accesibles más que para operaciones de mantenimiento.

Dicha tipología urbana, especialmente la que se refiere a las zonas céntricas, difiere notablemente del urbanismo de las zonas más habitualmente analizadas en la literatura sobre cubiertas ajardinadas, generalmente localizadas en países anglosajones donde el uso residencial prácticamente se limita a viviendas unifamiliares y el ancho de las calles es mayor.

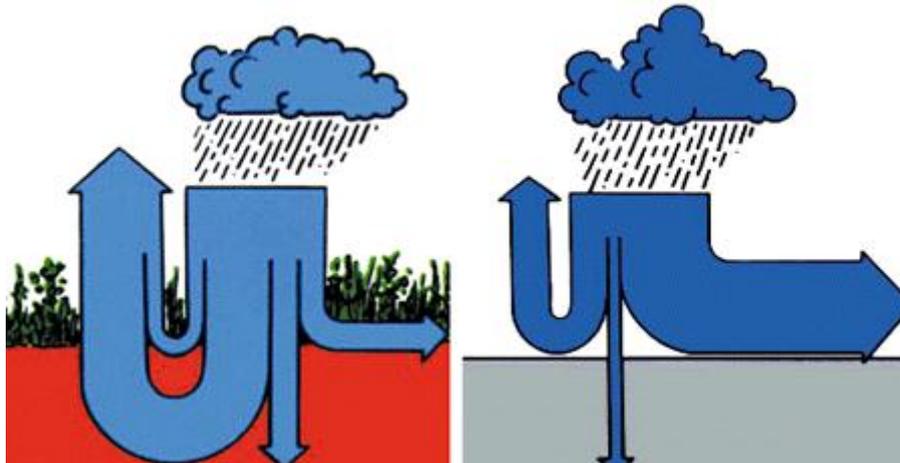
3. Beneficios de las Cubiertas Ajardinadas

A lo largo de este apartado se procede a describir ordenadamente los distintos beneficios que se han encontrado a lo largo de la bibliografía estudiada.

3.1 Gestión hidrológica

La urbanización trae como consecuencia un aumento de la superficie impermeable que impide la filtración del agua de lluvia y la recarga de acuíferos. Según Scholz-Barth (2001), un 95% del agua de lluvia es absorbida en zonas boscosas mientras que solamente un 25% lo hace en ciudades.

Figura 2: Diagrama de infiltración en zona permeable y escorrentía en impermeable (Scholz-Barth, 2001)



Dicho aumento de la proporción de superficie impermeable respecto a la permeable en una zona concreta afecta a su ciclo hidrológico reduciendo la infiltración y aumentando la escorrentía. Como consecuencia, durante periodos intensos de precipitación una cuenca muy urbanizada envía mayor volumen de agua hacia los cursos naturales como ríos y arroyos elevando así su caudal, y en caso de encontrarse núcleos urbanos aguas abajo se incrementa el riesgo de inundaciones por desbordamiento.

Las cubiertas vegetales, replicando el comportamiento de las plantaciones naturales pueden capturar el agua en el medio de crecimiento y en el follaje reteniéndolo, y posteriormente liberarlo a la atmósfera mediante procesos de evapotranspiración (Getter and Rowe, 2006).

Como resultado, la implementación de estas cubiertas podría plantearse como una herramienta de apoyo para la gestión hidrológica en zonas urbanas.

La capacidad de las cubiertas ajardinadas ha sido investigada por varios autores. Voyde, Fassman y Simcock. (2010) publicaron una retención anual acumulada del 66% basado en 6 configuraciones diferentes de cubiertas en Auckland, Nueva Zelanda. Kolb (2004) publicó una reducción anual de entre el 45 y el 70% en Veitshöchheim, Alemania, mientras que Moran, Hunt y Jennings (2004) reportaron una retención anual del 60% en Goldsboro y Raleigh en Carolina del Norte. Dichos datos, son acordes con la recopilación bibliográfica llevada a cabo por Gregoire y Clausen (2011), que a partir de un meta-análisis de 13 cubiertas vegetales construidas en distintas localizaciones geográficas y con variadas tecnologías establece que es posible conseguir una reducción media del 56%.

Sin embargo, la capacidad de retención y absorción de agua de las cubiertas vegetales depende del tipo y profundidad del sustrato, pendiente, extensión y tipo de plantación, así como de la intensidad y duración de la precipitación, luego la generalización de los valores expuestos anteriormente tendría poco peso científico.

El comportamiento hidrológico de una cubierta vegetal se describe a continuación.

Durante un periodo de lluvia el sustrato y las plantas captarán una proporción del agua en función de la humedad del sustrato, su granulometría y su compactación. En caso de continuar la precipitación el sustrato se saturaría y el porcentaje de infiltración se reduciría hasta prácticamente cero aumentando la escorrentía hasta un valor casi igual al que tendría en caso de ser un tejado convencional. Por lo tanto, en caso de lluvias intensas o prolongadas, la presencia de cubiertas vegetales no reduce el caudal máximo de escorrentía pero sí lo retarda, desfasando el momento de máxima precipitación respecto al de máxima escorrentía, aliviando los caudales en los sistemas de drenaje y contribuyendo a que éstos no se desborden. No obstante, en caso de persistir la precipitación intensa, la eficiencia para retardar el caudal de escorrentía sería muy baja, al saturarse rápidamente debido al limitado volumen de sustrato que pueden soportar (Liu, 2003).

Por otro lado, parece lógico pensar que debido a la presencia de cubiertas vegetales, al reducir el volumen de escorrentía se reduce el volumen de agua que entra en contacto con zonas impermeables, generalmente con presencia de altos niveles de hidrocarburos, sales, metales pesados, pesticidas y excrementos animales, lo que previene que dichos contaminantes alcancen los cursos de agua superficiales con su consecuente daño medioambiental. Dicha suposición viene apoyada por la investigación de Gregoire y Clausen (2011) que para una cubierta vegetal extensiva en Connecticut observaron reducciones en las concentraciones presentes en el agua de escorrentía de N, Zn, Pb Hg y Cu disuelto. Sin embargo, las concentraciones totales de P y Cu fueron más altas, que presumiblemente fueron incorporadas por medio del sustrato y el fertilizante de liberación lenta utilizado.

3.2 Mejora de la calidad del aire

Dado que las plantas tienen la capacidad de filtrar contaminantes en fase gaseosa y partículas en suspensión en el aire, las cubiertas vegetales pueden utilizarse para mejorar la calidad del aire de las ciudades. Las partículas serían incorporadas al suelo o sustrato a través del agua de lluvia y algunos contaminantes serían absorbidos por los tejidos vegetales.

Deutsch et al. (2005), modelaron la mejora potencial de la calidad del aire de la ciudad de Washington DC que se podría alcanzar utilizando cubiertas vegetales consistentes en un 50% herbáceas y un 50% arbustos de hoja perenne. El resultado obtenido fue que vegetando aproximadamente 1.4 km² de los tejados (el 20% de aquellos mayores de 100 m² presentes en la ciudad) se obtendría una eliminación de contaminantes equivalentes a plantar 17,000 árboles.

3.3 Reducción del efecto de isla urbana de calor

El efecto de isla urbana de calor aparece causado por el reemplazo de la vegetación y cursos de agua por superficies impermeables durante los procesos de urbanización. Al no ser retenida el agua en el suelo se reduce la cantidad de agua disponible para evapotranspiración y la energía solar que ya no es utilizada para evaporar agua es transformada en calor sensible (Barnes, Morgan & Roberge., 2001). Además, a menudo las superficies impermeables son absorbentes netas de calor durante el día para irradiarlo durante las horas nocturnas.

El albedo, es la unidad de medida que se utiliza para cuantificar la radiación solar que es reflejada de nuevo a la atmósfera y por consecuencia no absorbida y transformada en calor sensible, siendo éste generalmente un 10% menor en las ciudades que en las zonas rurales (Oliver, 1973). Como resultado, las zonas urbanas presentan temperaturas de hasta 5.6°C más altas que las de la zonas rurales de sus proximidades (USEPA, 2003), conociéndose este efecto como Isla Urbana de Calor.

Las cubiertas vegetales son un modo de restaurar la vegetación eliminada durante la construcción de edificios y por lo tanto aminorar la reducción en el albedo de las ciudades. Una investigación llevada a cabo por Bass (2003), estimó para Toronto que con simplemente un 5% del área total de la ciudad cubierta por cubiertas extensivas, la temperatura urbana podría reducirse en hasta 0.5 °C.

3.4 Reducción de niveles de ruido

Las superficies duras como el hormigón y los asfaltos rebotan el sonido mientras que la vegetación y los sustratos absorben las ondas sonoras reduciendo los niveles de ruido en las ciudades. Según Dunnet y Kingsbury (2004), en el aeropuerto de Frankfurt, Alemania, una cubierta con una profundidad de sustrato de 10 cm reduce los niveles de sonido hasta en 5 dB.

3.5 Conservación de energía

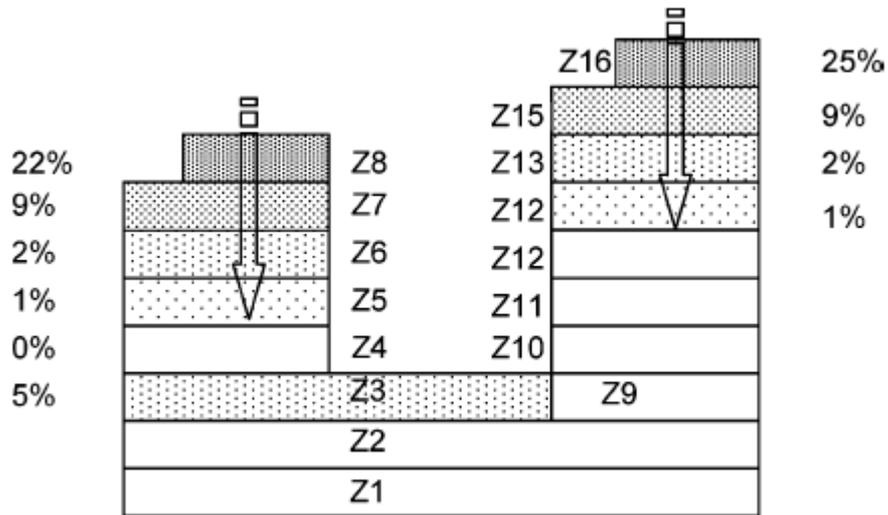
Las cubiertas vegetales elevan el aislamiento de los tejados de los edificios debido al efecto aislante del sustrato, la sombra que proporcionan las plantas y a la evapotranspiración.

Liu y Minor (2005) compararon en la Columbia Británica el comportamiento térmico de una misma cubierta, vegetando un 50% y dejando la otra mitad como una cubierta convencional. Tras un estudio de 30 días se midieron reducciones del 70%, disminuyéndose el flujo de calor de 2.634 kW/m² hasta 0.7 kW/m².

Por otro lado, se encontró que el flujo de calor a través de las cubiertas fue significativamente menor durante las épocas más calurosas (primavera y verano) pero que con temperaturas más frescas se hallaron pocas diferencias, de lo que se desprende que su comportamiento como aislante es mejor en verano que en invierno (Liu, 2002). Sin embargo, otros autores muestran que la presencia vegetal en cubiertas también puede reportar ahorros en calefacción, como Ascione et al. (2013) que reportó ahorros en calefacción de hasta un 7% en Amsterdam. También, a la hora de comparar disminuciones de consumo energético entre cubiertas vegetadas y convencionales es importante distinguir entre aquellas cubiertas que están bien aisladas de las que están mal o directamente no aisladas. Como describen Castleton et al. (2010), el ahorro energético entre una cubierta sin aislamiento térmico y la misma cubierta dotada de cobertura vegetal (y todo el sistema necesario como sustrato, etc.) puede ser notable, entre el 31 y el 44%. Sin embargo, si la cubierta ya tiene aislamiento térmico el ahorro proporcionado por la cobertura vegetal se reduce, llegando a ser casi imperceptible para las cubiertas mejor aisladas, como el caso descrito por Wong et al. (2003) donde solamente se obtuvo un 0.6% de ahorro energético para una cubierta con una transmitancia térmica 0.56 W/m²K.

Finalmente, Bass (2006) encontró que el ahorro energético en edificios de varias plantas con cubierta vegetal se reduce a medida que se desciende desde la planta superior, donde el ahorro en aire acondicionado fue del 22% mientras que cuatro plantas más abajo dicho ahorro es solamente del 1% como puede verse en la Figura 3.

Figura 3: Perfil de ahorro energético en sistemas de aire acondicionado debido a la presencia de cubiertas ajardinadas en un edificio de varias plantas (Saiz et al., 2006)



3.6 Beneficios económicos indirectos

Como fue anteriormente expuesto, la capacidad de las cubiertas ajardinadas de retener el agua de lluvia y retardar la escorrentía puede ser utilizada como una medida para la prevención de inundaciones y los consiguientes gastos ocasionados en negocios y edificios residenciales. También, reducen la cantidad de agua que ha de ser captada por el alcantarillado urbano reduciéndose potencialmente los gastos públicos en mantenimiento e inversiones. Por ejemplo, Peck (2005) estimó que si el 6% de la superficie de todas las cubiertas de la ciudad de Toronto fuesen revegetadas, el agua retenida sería equivalente a un tanque de tormenta de 60 millones de dólares (CND). Cabe destacar que dicha cifra es una indicación a grandes rasgos que para ser rigurosa debe equilibrarse con los costes asociados a la construcción y el mantenimiento de la cubierta vegetal.

Igualmente, debido a la retención del agua y a su potencial para eliminar contaminantes del agua de lluvia antes de que llegue a los sistemas de aguas superficiales, se podrían obtener ahorros en el tratamiento de dichas aguas y también beneficiar actividades económicas dependientes de la calidad de agua como la pesca.

Por otro lado, la esperable reducción de temperatura de los edificios como resultado de la disminución del efecto de isla urbana de calor en las ciudades reduciría la demanda energética de los sistemas de aire acondicionado y su consumo eléctrico. A modo indicativo, se puede destacar que en el análisis costo-beneficio de una cubierta vegetal extensiva en Georgia, EEUU, realizado por Carter y Keeler (2008) arrojó como resultado que el 71% de los beneficios económicos aportados por la cubierta vegetal se deben al ahorro energético que ésta proporciona. No obstante, cabe destacar que dicho ahorro va íntimamente ligado a la tecnología utilizada para la construcción de la cubierta y a las condiciones climatológicas, por lo que dicha cifra es relativa.

Finalmente, Ulrich (1984) demostró que los pacientes hospitalizados cuya habitación tenía vistas a zonas verdes se recuperaban más rápido que aquellos que carecían de éstas. Si se vegetasen las cubiertas de los edificios alrededor de hospitales urbanos, las habitaciones cuyas ventanas se encontrasen por encima de las cubiertas vegetales se verían beneficiadas por sus vistas proporcionándose potencialmente ahorros económicos por medio de reducciones en la ocupación de camas hospitalarias y consumo de analgésicos y otros medicamentos.

3.7 Beneficios económicos directos

La inclusión de una cubierta vegetal en un edificio puede ser utilizado como elemento de marketing para su venta y por lo tanto elevar el precio de venta de una vivienda. En 2003, un estudio de la inmobiliaria FPD Savills mostró que los compradores de Londres estaban dispuestos a pagar hasta un 20% más por la promoción BedZED, un conocido desarrollo diseñado con cubierta vegetal y otros “eco-elementos”, que por otras viviendas similares en la misma zona.

Por otro lado, las cubiertas vegetales intensivas pueden ser utilizadas como terrazas y proporcionar superficie de recreo adicional donde además, pueden situarse negocios que generen actividad económica.

Finalmente, la presencia de vegetación y substrato modera tanto las temperaturas extremas como sus fuertes fluctuaciones en la cubierta de las edificaciones y reducen la incidencia de radiación solar directa sobre éstas, consiguiendo disminuir el estrés en sus materiales elevar su durabilidad. Según Scholz-Barth (2001), una cubierta vegetal bien instalada puede llegar a tener una vida útil hasta tres veces superior a la de una cubierta convencional equivalente.

Los beneficios económicos tanto directos como indirectos que las cubiertas vegetales proporcionan son de compleja cuantificación y, si bien existen, son difícilmente utilizables en el proceso de toma de decisiones. Además, algunos de ellos son discutibles como ocurre para los ahorros en infraestructuras de saneamiento a nivel municipal. Tal y como muestran Carter y Keeler (2008) los gastos en saneamiento para la cuenca del Tanyard Branch en Georgia no se ven reducidos por la presencia de una estrategia de implementación de cubiertas vegetales debido a que éstas son solo eficientes en retener el agua de escurrimiento en caso de periodos de retorno de 1 o 2 años, mientras que para los eventos de 25 y 100 años no proporcionan beneficios reales, que son la referencia en base a la cual se dimensionan las infraestructuras. Por otro lado, estudios de Análisis de costos de ciclo de vida realizados - Carter y Keeler (2011), Wong et al. (2002) - han mostrado que el Valor Actual Neto para las cubiertas vegetales estudiadas es inferior al de cubiertas convencionales. Además, Ascione et al. (2013), han encontrado que en numerosos casos los costes derivados del riego de las cubiertas en épocas de sequía ya superan a los ahorros obtenidos por las reducciones de usos energéticos.

4. Discusión

Los potenciales beneficios de las cubiertas vegetales son numerosos y extensamente estudiados por la literatura científica. Sin embargo, éstos son altamente dependientes del contexto en el que se sitúan generando resultados contradictorios que ponen en duda sus bondades.

Como fue expuesto en el punto 3.5 las cubiertas vegetales pueden constituir una herramienta para la gestión hidrológica urbana. En el contexto de las ciudades del Arco Atlántico Español pueden tener gran relevancia para aumentar el ratio de cobertura vegetal en las zonas céntricas donde su excesiva edificación no permitiría otro tipo de medidas. Sin embargo, su utilidad para barrios más periféricos que ya cuentan con mayores áreas verdes, no estaría tan clara dado que podrían alojar otras estructuras de retención como estanques o canales, con mayor capacidad y eficacia a la hora de controlar picos de escorrentía durante eventos de pluviometría intensa (Villarreal et al., 2004).

La capacidad de las plantas de filtrar la contaminación atmosférica de las ciudades es un hecho ampliamente constatado y parece lógico inferir al igual que hizo Deutsch et al. (2005), que la inclusión de cubiertas vegetales puede ser un buen medio para aumentar la huella vegetal en zonas densamente edificadas donde la falta de espacio supone un problema como sucede en el centro de las ciudades Atlánticas. Sin embargo, los centros urbanos de

estas ciudades se caracterizan por tener edificios relativamente altos (entre 15 y 20 metros) organizados en calles estrechas en las que la dispersión del aire sigue patrones muy complejos, por lo que la eficiencia de la vegetación situada a dicha altura es difícilmente equiparable a la de la vegetación situada a pie de calle, y su cuantificación exigiría de estudios más detallados para el contexto en análisis.

Del mismo modo, el anterior razonamiento se hace extensible a la hora de poner en duda la utilidad de las cubiertas como método de gestión del ruido en las ciudades del Arco Atlántico, dado que éste proviene principalmente del tráfico rodado a pie de calle y no del aire como ocurre en el caso del aeropuerto de Frankfurt.

De igual modo que sucede en contextos diferentes al Arco Atlántico, la utilización de cubiertas vegetales para reducir el efecto de la isla de calor urbana es posible y está suficientemente contrastada, principalmente aprovechando las tasas de albedo superiores que estas cubiertas presentan en comparación con las cubiertas convencionales. Sin embargo, en este aspecto otras tecnologías mucho más sencillas y baratas de instalar como los techos fríos pintados de blanco proporcionan incluso un rendimiento mejor al presentar mayores tasas de albedo (Susca, Gaffin & Dell'osso, 2011).

Como ya se ha expuesto en el punto 3.5 es posible alcanzar ahorros energéticos en los edificios con cubiertas vegetales a través de reducciones en las necesidades de climatización. Sin embargo, dichas referencias deberían ser matizadas en función del contexto climático, el tipo de cubierta vegetal utilizada y del grado de aislamiento con el que cuenta el edificio. Según Ascione et al. (2013) para los edificios bien aislados no se presentan variaciones significativas del coeficiente de conductividad térmica de la cubierta en función de que esté vegetada o no, por lo que la inclusión de una cubierta vegetal en estos casos no se justificaría por el mero objetivo de ahorro energético. No obstante, dicho aspecto cobra especial relevancia en el contexto urbano de las ciudades del Arco Atlántico, donde la mayoría de los edificios situados en el centro urbano fueron construidos entre los años 60 y 90 cuando no se añadía aislamiento térmico en la cubierta, por lo que la incorporación de un tejado vegetal mejoraría notablemente el rendimiento energético de las plantas superiores del edificio. Por otro lado, a pesar de que también es posible alcanzar ahorros en consumo de calefacción, donde se consigue mayoritariamente la reducción energética es a través de la disminución de las necesidades de aire acondicionado. En el contexto atlántico en estudio, las plantas superiores de los edificios, donde se generarían los mayores ahorros, están dedicadas a uso residencial y en general carecen de sistemas de aire acondicionado, luego dichos ahorros solo se materializarían por medio de la disminución de uso de calefacción y ya serían muy inferiores. Al mismo tiempo, los usos comerciales, que sí disponen de aparatos de aire acondicionado, se encuentran a pie de calle y no se beneficiarían de dichas reducciones.

Finalmente, como ha sido expuesto en el punto 3.7, los beneficios económicos directos que las cubiertas ajardinadas pueden proporcionar necesitan ser analizados con mayor detalle. Además, en el contexto del arco atlántico, sería cuestionable que la edificación tipo podría beneficiarse del eco-marketing que las cubiertas proporcionan dado que éstas son poco visibles a pie de calle y no incitaría a la compra. No obstante, desarrollos urbanísticos que se lleven a cabo en zonas periféricas donde las alturas son inferiores sí podrían influir positivamente en el precio de compra.

5. Conclusiones

En la presente comunicación se ha hecho un repaso a los posibles beneficios que las cubiertas ajardinadas podrían proporcionar a las ciudades del Arco Atlántico Español.

Como se ha estudiado, a escala ciudad los principales beneficios ambientales que se podrían obtener pasarían por una mejora del comportamiento hidrológico y reducciones del efecto de isla urbana de calor. Sin embargo, cabe destacar que para que éstos se produjesen sería necesario conseguir altos ratios de cobertura vegetal municipal lo que obligaría a rehabilitar numerosos edificios existentes, lo que en muchas ocasiones puede ser inviable tanto técnica (por su imposibilidad de soportar cargas mayores), como económicamente.

Por otro lado, a escala edificio podrían conseguirse importantes ahorros económicos por reducciones en los consumos energéticos y por el aumento de la vida útil de la capa impermeabilizante de las cubiertas. Dichos beneficios serían maximizados para el caso de instalación de cubiertas vegetales en edificios de baja altura, de hasta 2 plantas, de uso comercial exclusivo o combinado con uso residencial donde se alcanzarían las mayores reducciones en necesidades de climatización, tanto en calefacción como de aire acondicionado, y donde también se podría utilizar el espacio extra que proporcionaría una cubierta intensiva para fines recreativos y comerciales.

6. Referencias

- Ascione, F., Bianco, N., de' Rossi, F., Turni, G., & Vanoli, G. P. (2013). Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning? *Applied Energy*, 104, 845–859. doi:10.1016/j.apenergy.2012.11.068
- Barnes, K. B, Morgan III, J.M. & Roberge, M.C. (2001) Impervious surfaces and the quality of natural built environments. Baltimore: Department of Geography and Environmental Planning, Towson University.
- Bass, B. (2006) From Heated Rock Piles to Cooler Buildings: The Thermal Benefits of Green Roof Infrastructure. [online] *Proceedings of the 2006 National Green Roof Conference*. Sheffield. University of Sheffield. Available from: <http://www.shef.ac.uk/landscape/greenroof/Greenfoofppts.htm> [Accessed 10th August 2006]
- Bass, B. (2003) The impact of green roofs on Toronto's urban heat island. *Greening rooftops for sustainable communities conferences*, Chicago, May 2003.
- Castleton, H. F., Stovin, V., Beck, S. B. M., & Davison, J. B. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*, 42(10), 1582–1591. doi:10.1016/j.enbuild.2010.05.004
- Carter, T., & Keeler, A. (2008). Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of environmental management*, 87(3), 350–63. doi:10.1016/j.jenvman.2007.01.024
- Deutsch, B., H., Whitlow H., Sullivan, M. & Savineau, A.. (2005) Re-greening Washington, DC: A green roof vision based on environmental benefits for air quality and storm water management. *Greening rooftops for sustainable communities conferences*, May 2005, pp. 379–384
- Dunnet, N. and Kingsbury, N. (2004) *Planting Green Roofs and Living Walls*. Portland, Oregon. Timber Press
- Getter, K. and Rowe, B. (2006) The role of extensive green roofs in sustainable development. *Hortscience* 41 (5), pp. 1276-1285
- Gregoire, B. G., & Clausen, J. C. (2011). Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. *Ecological Engineering*, 37(6), 963–969. doi:10.1016/j.ecoleng.2011.02.004

- Instituto Nacional de Estadística (2007) Anuario Estadístico de España 2007 [online] Available from : http://www.ine.es/prodyser/pubweb/anuarios_mnu.htm [Accessed 10th August 2007]
- Kolb, W., 2004. Good reasons for roof planting – Green roofs and rainwater. Int. Conf on Urban Horticulture, *Acta Horticulturae*, No.643, 295-300
- Liu, K. (2002) Energy efficiency and environmental benefits of rooftop gardens. *Construction Canada* 44 (2), pp. 17, 20-23
- Liu, K. (2003) Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation. *Proceedings of the 18th International Convention of the Roof Consultants Institute*, pp. 93–103
- Liu, K. and Minor, J. (2005) Performance evaluation of an extensive green roof. In *Proceedings of Greening rooftops for sustainable communities conferences*, Washington, DC. May 2005, pp 1-11
- Moran, A., Hunt, B., Jennings, G., 2004. A North Carolina Field Study to Evaluate Greenroof Quantity, Runoff Quality, and Plant Growth, *2nd Greening Rooftops for Sustainable Communities Conf.*, Portland, 2–4 June, pp. 446–460
- Niachou, a, Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, a, & Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33(7), 719–729. doi:10.1016/S0378-7788(01)00062-7
- Oliver, J.E. 1973. *Climate and man's environment: An introduction to applied climatology*. New York, John Wiley & Sons.
- Osmundson, T. (1999) *Roof Gardens. History, Design and Construction*. New York. W.W. Norton & Company, Inc.
- Peck, S.W. (2005) Toronto: A model for North American infrastructure development, p. 127–129. In *EarthPledge. Green roofs: Ecological design and construction*. Schiffer Books, Atglen, Pa
- Saiz, S., Kennedy, C., Bass, B., Pressnail, K.. (2006) Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green Roofs. *Environmental Science & Technology* 40 (13), pp.4312-4316
- Scholz–Barth, K. (2001) Green roofs: Stormwater management from the top down. *Environmental Design & Construction* 4, pp.63–70
- Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell'osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: urban heat island and green roofs. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 159(8-9), 2119–26. doi:10.1016/j.envpol.2011.03.007
- Ulrich, R.S. (1984) View through a window may influence recovery from surgery. *Science* 224 pp. 420–421
- USEPA. 2003. Cooling summertime temperatures: Strategies to reduce urban heat islands. EPA 430-F-03-014. USEPA, Washington, D.C.
- Voyde, E., Fassman, E., Simcock, R., 2010. Hydrology of an extensive living roof under sub-tropical climate conditions in Auckland, New Zealand. *J. Hydrol.* 394, 384–395.
- Wong, N.H, Tay S.T., Wong, R., Ong, C.L., Sia, A. (2003). Life cycle cost analysis of roof top gardens in Singapore. *Environment science and technology* 38, pp. 499-509