

Techos verdes:

¿Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta?

Green Roofs:

A feasible tool for environmental management in the hospitality sector of El Rodadero, Santa Marta?

Recibido para evaluación: 29 de Septiembre de 2011
Aceptación: 28 de Marzo de 2012
Recibido versión final: 17 de Abril de 2012

Seweryn Zielinski¹
Mario Alberto García Collante²
Juan Carlos Vega Paternina³

RESUMEN

El acelerado desarrollo urbano genera una serie de problemas no sólo sociales y económicos, sino también ambientales. Los techos verdes son unas de las nuevas tecnologías que pueden ser utilizadas como herramientas para la gestión ambiental en los edificios. Sin embargo, existen muchas barreras que impiden su implementación a gran escala. Este artículo hace una revisión profunda de las experiencias y resultados de numerosas investigaciones en el tema, destacando los beneficios de los techos verdes y mostrando las barreras para la implementación de esta tecnología en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta. La metodología consistió en la revisión de resultados de investigaciones llevadas a cabo en diferentes ciudades del mundo, haciendo énfasis en las realizadas en condiciones climáticas similares a la zona de estudio. Adicionalmente, se aplicaron encuestas a los gerentes de 18 hoteles en El Rodadero con el fin de conocer su opinión acerca del tema. Como resultado, se concluyó que los techos verdes pueden ser herramientas muy efectivas para la gestión ambiental si son implementados a gran escala. Sin embargo, en el caso de El Rodadero, ésta es una opción poco viable, aunque existe un interés de implementar proyectos pilotos que podrían disipar la desconfianza de los empresarios.

PALABRAS CLAVES: Techos verdes, cubiertas verdes, azoteas ecológicas, gestión ambiental, El Rodadero, Santa Marta

ABSTRACT

The accelerated urban development generates a series of problems, not only social and economic, but also environmental. The green roofs are one of the new technologies that can be used as a tool for environmental management in buildings. However, there are many barriers that prevent from their implementation on a large scale. This article is based on a detailed review of the experiences and results of many studies on the subject, underlining the benefits of green roofs and demonstrating the limitations for their implementation in the hotel sector of El Rodadero in the city of Santa Marta. The methodology consists of secondary research of studies carried out in different cities, making an emphasis on researches in climatic conditions similar to those in the study area. Additionally, the owners and managers of 18 hotels were interviewed about their opinion on the topic. In result, it was concluded that green roofs can be an effective tool for environmental management if they are implemented on a large scale. However, in the case of El Rodadero it is not feasible, although there is an interest to implement pilot projects that could dissipate the lack of confidence of the local managers.

KEYWORDS: Green roofs, ecological roofs, environmental management, El Rodadero, Santa Marta

1. Estudiante de Maestría en Manejo Integrado Costero, Universidad del Magdalena, Profesional en Gestión de Turismo Sostenible de la NHTV Universidad de Ciencias Aplicadas, Holanda

2,3. Estudiantes de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad del Magdalena

Grupo de Investigación en Sistemas Costeros, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Magdalena, Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

Más de la mitad de la población mundial se concentra en las ciudades y esta concentración se convierte en una amenaza. El acelerado desarrollo urbano genera una serie de problemas, no sólo sociales y económicos, sino también ambientales, especialmente visibles en las ciudades de los países en vía de desarrollo, las cuales carecen generalmente de la infraestructura adecuada para mitigar los efectos de la desordenada expansión urbana. Además, como las grandes ciudades norteamericanas o europeas, también enfrentan la contaminación del aire, el efecto de la isla de calor y/o la insuficiente capacidad de los alcantarillados durante fuertes lluvias.

Una respuesta a estas problemáticas ha sido proporcionada por la ciencia y las nuevas tecnologías; desde soluciones relativamente simples como el incremento de la cobertura de áreas verdes, hasta las tecnologías sostenibles relativamente nuevas como la energía solar, los materiales de construcción que reflejan los rayos solares, la reutilización de aguas lluvias y las técnicas empleadas para el almacenamiento de agua y energía. Entre estas tecnologías ecológicas recientes, están los techos verdes que nacieron como respuesta a la dificultad de expansión de áreas destinadas a la vegetación en los núcleos urbanos. Los techos verdes, conocidos también como techos ecológicos, cubiertas verdes, sistemas de naturación y azoteas verdes, son una nueva forma de incorporación de masa vegetal a la vida urbana, en aquellos espacios que han sido poco valorados como los envolventes de las edificaciones (García, 2010).

En los últimos años, ha aumentado la utilización de los techos para cultivar plantas, no sólo por razones estéticas, sino también para mejorar la calidad ambiental del entorno (Li et al., 2010). Las plantas pueden reducir el calor por medio de la reflexión de la radiación solar y la generación de sombra. También pueden disminuir el calor a través del proceso de transpiración, el cual reduce la temperatura dentro y fuera del edificio (Fujii et al., 2005). Finalmente, las plantas pueden mejorar la calidad del aire, removiendo sus contaminantes y atrapando las partículas en sus hojas (Nowak, Crane y Stevens, 2006). De esta manera, los techos verdes logran cada vez más reconocimiento como una tecnología moderna y ecológica para enfrentar el cambio climático y los problemas ambientales más comunes en el medio urbano (Jim y Tsang, 2011).

Sin embargo, a pesar del gran potencial que ofrecen las cubiertas verdes a las ciudades, el riesgo de que estos sistemas no cumplan con su función puede ser alto. Por lo tanto, la cuestión de factibilidad de instalación de un sistema de cubierta verde es un factor crítico, ya que el costo es elevado y la tecnología demuestra alta sensibilidad al clima. Adicionalmente, los factores culturales y legales también dependen de las condiciones locales. En otras palabras, la viabilidad de la implementación de techos verde varía de un techo a otro y también de una ciudad a otra. Por lo tanto este artículo busca introducir el tema de los techos verdes, y mostrar las ventajas y limitaciones para su adopción en la zona norte del Caribe colombiano.

El área de estudio está ubicada en El Rodadero en el *Distrito Turístico*, Cultural e Histórico de Santa Marta. La muestra se centra en el sector hotelero, considerado el más apto para la implementación de tecnologías sostenibles, principalmente por los siguientes factores:

- Muchos alojamientos hacen parte de grandes cadenas hoteleras que generan altos ingresos, lo cual permite realizar una gran inversión a largo plazo;
- Es más factible implementar los techos verdes en el sector hotelero, ya que la gran mayoría de los edificios tienen un solo propietario;
- Los techos verdes se vuelven jardines ecológicos y pueden ser utilizados como miradores, aumentando substancialmente el atractivo turístico del hotel; y
- Hay una tendencia en el sector hotelero hacia la responsabilidad socio- ambiental que aumenta el atractivo del hotel y es un factor importante para los turistas. No cabe duda que el sector comercial cuenta con la mayoría de estas características, demostrando un alto potencial para la implementación de las cubiertas verdes. Sin embargo, la superficie por unidad de los techos de los hoteles es mucho mayor que la de los edificios comerciales en El Rodadero. Por lo tanto el estudio se centra en el sector hotelero.

Los tipos de techos verdes

Existen diferentes sistemas de naturación en cubiertas; sin embargo, los más comunes se pueden clasificar en tres tipos:

- **Intensivos:** Se consideran como jardines convencionales; son accesibles y tienen sustratos espesos que alojan una variedad de plantas, desde comestibles y arbustos, hasta árboles (Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2009). Los techos intensivos requieren que la capa del sustrato sea mayor de 30 cm., lo que aumenta el peso del sistema. Además, el costo de instalación y el mantenimiento son elevados ya que se requiere riego, fertilización y poda constante. Se procura que este tipo de sistema se realice en construcciones nuevas, ya que es necesario un cálculo estructural detallado debido a que el peso del sistema es superior a los 250 kg/m², hasta los 400 Kg/m² (López, 2010). La imagen 1 muestra un ejemplo de un techo verde intensivo



Imagen 1. Un techo verde intensivo en Nueva York
Autor: Design Squish

- **Semi- intensivos:** Estos sistemas que se observan en la imagen 2, se consideran intermedios, debido a que el espesor del sustrato oscila entre los 12 y 30 cm., lo que disminuye la selección de especies vegetales en comparación con el sistema intensivo, aunque brinda más posibilidades que el sistema extensivo. Requieren mantenimiento regular. El peso aproximado del sistema es entre 120 y 250 kg/m² (García, 2010).



Imagen 2. Un ejemplo del techo semi-intensivo en Portland
Autor: TEUFEL – Environmental Solutions

- **Extensivos:** Estos sistemas son de bajo mantenimiento y generalmente se instalan en lugares inaccesibles. A menudo se plantan en ellas especies con poco requerimiento de humedad, con solo 5 a 15 cm. de sustrato y suelen subsistir con agua de lluvia. La vegetación es de bajo porte, usando generalmente especies endémicas o adaptadas a las condiciones ambientales. Por ello su mantenimiento es mínimo. El peso aproximado del sistema oscila entre 60 y 140 kg/m² (Stovin

et al., 2007). Así, esta clase de cubierta verde es la más apta para ser utilizada en construcciones existentes, ya que se necesitan mínimos refuerzos en la estructura para soportar el peso adicional.

Imagen 3. La terraza de la nueva sede de la Secretaría del Medio Ambiente de Bogotá
Autor: Rodrigo sepúlveda / CEET



Componentes de los techos verdes

Para que el sistema de vegetación tenga las condiciones de funcionamiento óptimas, los siguientes componentes que están en la gráfica 1, son necesarios (García, 2010):

- Soporte base que sirve para el apoyo de todos los componentes.
- Membrana impermeabilizante anti- raíz que inhibe el crecimiento radical de las especies vegetales.
- Capa drenante cuya función es recibir las precipitaciones y conducir las hacia los desagües de la cubierta. También puede servir como almacén de agua.
- Capa filtrante que evita el paso de las partículas finas del sustrato hacia la capa drenante.
- Capa de sustrato cuya función es servir de soporte físico a la capa de vegetación, suministrándole los nutrientes, el agua y el oxígeno necesarios.
- Capa de vegetación con una selección de especies vegetales que depende del sistema de naturación elegido.

Gráfica 1. Componentes de un techo verde tipo extensivo
Fuente: García, 2010

Los beneficios

Los beneficios de los sistemas de techos verdes han sido investigados en todas partes del mundo. Los numerosos estudios han cuantificado estos beneficios. Sin embargo, la multitud de variables que determinan el desempeño de cada sistema impide dar una respuesta definitiva. Los siguientes datos son los resultados de las investigaciones más recientes que han permitido mejorar la comprensión de los beneficios de techos verdes.

- **Mejoramiento de la calidad del aire:** La contaminación del aire en el ambiente urbano es uno de los problemas de mayor importancia para la salud humana. Los estudios demuestran que la vegetación puede contribuir significativamente a la reducción de la contaminación del aire en las ciudades (Nowak, 2006). La vegetación retiene polvo y partículas contaminantes presentes en el aire por medio de la adhesión (Jun, Yu y Gong, 2008) y gracias al efecto de microclima. Jun Yang et al. (2008) demuestran que el nivel anual de retención de los contaminantes del aire en Chicago por hectárea del techo intensivo es de 85kg. En las ciudades más pequeñas este resultado oscila alrededor de 0.2 kg por m² por año (Kuhn y Peck, 2003). Además de filtrar las partículas del aire, las plantas captan CO₂ y liberan oxígeno (Li et al., 2010). La investigación de Li et al. (2010) concluyó que en Hong Kong, en un día soleado, un techo verde extensivo puede reducir la concentración de CO₂ en su entorno hasta en un 2%. Otros estudios reportan un 37% de reducción de dióxido de azufre y una reducción del 21% del ácido nitroso (Yok Tan y Sia, 2005).
- **Manejo de aguas lluvias:** Los techos verdes tienen la capacidad de retención de agua, almacenándola en el sustrato, donde es absorbida por las plantas y luego devuelta a la atmósfera mediante el proceso de evaporación y transpiración (Wong et al., 2003; Carter y Keeler, 2008). Los estudios de estos investigadores demuestran que las cubiertas verdes tienen la capacidad de absorber, filtrar, retener y almacenar entre 40 y 80 por ciento de la precipitación anual que cae sobre ellas, dependiendo de la intensidad de las precipitaciones y el tipo y grosor de la capa del sustrato. Una capa de 12 cm. demora hasta 12 horas en comenzar a liberar el agua almacenada durante un evento de lluvia y continúa liberándola durante cerca de 21 horas (Scholz- Barth y Tanner, 2004), lo que ayuda a reducir la tasa de flujo y el volumen del agua en el sistema de alcantarillado (López, 2010). Además de reducir el flujo de agua, los techos verdes retardan el momento crítico de la descarga al drenaje, ya que el sustrato necesita tiempo para saturarse (Carter y Jackson, 2007).
- **Regulación de la temperatura y ahorro de electricidad:** La vegetación sobre las cubiertas tiene un alto efecto de aislamiento térmico, ya que la capa de sustrato funciona como un colchón que no permite que el techo se caliente (Gernot, 2004). En este contexto, las mediciones realizadas a una cubierta verde en Nottingham Trent University demuestran que mientras la temperatura exterior promedio es de 18.4°C y la temperatura bajo la membrana de un techo normal oscila alrededor de 32.0°C, bajo la membrana del techo verde es de 17.1°C (Livingroofs.org y Ecology Consultancy Ltd., 2004). En efecto, los techos verdes reducen el consumo de electricidad por el sistema de aire acondicionado (Wong et al., 2003) hasta en 50% (Akbari, 1995). Además de tener la función de aislador, las cubiertas verdes reducen la temperatura del ambiente por medio de procesos fisiológicos de la vegetación como son la evapotranspiración, la fotosíntesis y la capacidad de almacenar calor de su propia agua.
- **Prolongación de la vida útil de la cubierta:** Los sistemas de naturación ayudan a proteger las cubiertas de fluctuaciones extremas de temperatura, lo que aumenta la durabilidad estructural de la cubierta (Teemusk y Mander, 2009). Con las cubiertas verdes, se puede extender la vida de un techo a 40 años, que es el doble de una cubierta tradicional (Ibáñez, 2008). En Europa, donde la tecnología de techos verdes inició hace más de 20 años, algunas investigaciones concluyen que las membranas cubiertas por vegetación pueden prolongar la vida del techo hasta 50 años (Roofscapes, 2002 citado en Kosareo y Ries, 2007) o 60 años (Livingroofs.org y Ecology Consultancy Ltd., 2004).
- **Reducción del efecto de isla de calor:** El efecto de *isla de calor* es el aumento de la temperatura en zonas urbanas, en relación con los alrededores. En ciudades grandes, esta diferencia puede alcanzar hasta los 5° C, siendo la Ciudad de México un ejemplo específico que alcanza los 9° C de diferencia (Akbari, 1995). Las zonas urbanas cuentan con extensas áreas de superficie dura que absorben radiación solar y reflejan este calor de nuevo hacia la atmósfera (Landsberg, 1981). La vegetación, debido a su comportamiento térmico y físico, absorbe el calor y lo utiliza a través del proceso de evapotranspiración, reduciendo la temperatura urbana y el efecto de smog (Akbari y Konopacki, 2005).
- **Creación de hábitats:** Los techos verdes pueden convertirse en hábitat de fauna menor, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad en áreas urbanas. Estudios detallados sobre la relación entre los techos verdes y la biodiversidad han sido realizados desde 1997. Como resultado, la utilidad de las cubiertas verdes para los voladores pequeños ha sido comprobada

(Johnston y Newton, 2004). Las cubiertas verdes también proporcionan espacio para anidación de comunidades de aves nativas (Baumann, 2006). El UK Biodiversity Action Plan considera los techos verdes como un importante vínculo entre los hábitats fragmentados que proporciona nuevos espacios para especies raras y protegidas (Currie y Bass, 2010).

- **Reducción de ruido:** La combinación de sustrato, plantas y capas de aire dentro del sistema de techo verde actúa como una barrera de sonido y proporciona una reducción significativa del ruido en el interior del edificio. En las cubiertas verdes, una parte de la onda es absorbida por las plantas y el sustrato, y otra parte es reflejada y desviada (Renterghem y Botteldooren, 2009). En este marco, Renterghem y Botteldooren (2011) investigaron cinco casos de cubiertas verdes, tomando datos antes y después de la instalación de los sistemas, y llegaron a la conclusión de que el aislamiento acústico proporcionado por las cubiertas excede 10 dB. Los investigadores descubrieron que el sustrato bloquea las frecuencias bajas, mientras que las plantas lo hacen con las frecuencias altas. Adicionalmente, el grueso del sustrato es el factor más importante que absorbe las ondas, ya que los mejores resultados fueron registrados en techos con capa de 180 mm. Finalmente, un estudio de Kalzip (citado en Livingroofs.org y Ecology Consultancy Ltd., 2004) demuestra resultados similares, registrando la reducción promedio del ruido de 8 dB.
- **Beneficios físicos y psicológicos:** Los techos verdes proveen beneficios psicológicos y físicos relacionados con relajación, regeneración, reducción de estrés y provisión del aire más limpio (Hartig et al. 1991). Samangoei (2006) identifica multitud de casos que demuestran la relación positiva entre las cubiertas verdes y los beneficios psicológicos y físicos para las personas.
- **Beneficios sociales:** Los beneficios sociales incluyen la integración del edificio a entornos naturales, las variadas posibilidades de diseño y la utilización del espacio para descanso y esparcimiento (Ibáñez, 2008). La implantación de sistemas de naturación aumenta la superficie verde en las zonas urbanas y permite utilizar un espacio que actualmente está desaprovechado. Especialmente los techos verdes intensivos presentan un potencial muy alto para áreas altamente urbanizadas. Para un hotel ubicado en el centro de la ciudad, un jardín en el techo es una ventaja competitiva, ya que la vegetación proporciona un espacio verde altamente valorado por los turistas. Además el techo puede ser utilizado como mirador y cafetería.
- **Reconocimiento y responsabilidad ambiental:** Los techos verdes son fácilmente reconocibles, ya que los edificios que implementan esta tecnología difieren significativamente de los demás edificios en las áreas urbanas. Por lo tanto, las edificaciones de este tipo reciben un cierto reconocimiento, especialmente en aquellas ciudades donde apenas se están implementando por primera vez. Es común que los primeros edificios que instalan una cubierta verde sean comerciales, como hoteles y empresas reconocidas, o públicos como universidades e instituciones municipales. Estos edificios son casos exitosos de responsabilidad socio-ambiental, por lo que reciben publicidad en medios de comunicación local, nacional, hasta internacional. Además del reconocimiento, las empresas privadas e instituciones públicas aprovechan la imagen de responsabilidad socio-ambiental en sus campañas de marketing.
- **Incremento del valor comercial:** La popularidad de los espacios verdes también se refleja en los valores inmobiliarios. Hoy, existen muchas experiencias documentadas, especialmente en Europa, donde las cubiertas verdes proporcionan un valor agregado, aumentando el precio comercial de los edificios, en la mayoría de uso residencial (especialmente torres de apartamentos), oficinas, hoteles, edificios para la recreación y el esparcimiento (Ibáñez, 2008). Fuera de Europa también se ha registrado una dinámica similar. En Tokio, se han comenzado a instalar cubiertas verdes para incrementar el valor del m² en los edificios (Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2009). Finalmente, en los Estados Unidos, se ha registrado un aumento en el valor de los edificios con techos verdes entre 6 y un 15% (Johnston y Newton, 2004).
- **Productividad y generación de ingreso:** Los techos verdes generan la posibilidad de practicar la agricultura urbana que es una manera creativa y práctica para aprovechar áreas subutilizadas de las ciudades. Según los resultados del proyecto piloto de Kortright (2001), las condiciones para cultivar en techos no difieren sustancialmente de las condiciones en tierra. Las experiencias más recientes de Canadá (Santropol Roulant, 2011), Estados Unidos (Geller, 2009), Reino Unido, Japón, Singapur, Tailandia y Taiwán (Hui, 2011) confirman que la producción de alimentos de autoconsumo e incluso venta es completamente viable.

2. METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló por medio de revisión detallada de información secundaria, complementada por recolección de información primaria (principalmente entrevistas y encuestas). Los resultados de los estudios sobre los techos verdes en diferentes países fueron la base para identificar las barreras para la adopción de esta tecnología en la región Caribe en Colombia.

Las barreras naturales fueron identificadas por medio de la revisión bibliográfica de las investigaciones realizadas en condiciones similares a las del proyecto. En la región Caribe no se ha investigado el tema de cubiertas verdes, por lo que el marco de referencia más cercano se limita a casos de estudios en Australia y el sur de España.

Finalmente, las barreras psicológicas y económicas fueron identificadas a través de entrevistas con los gerentes de los hoteles en El Rodadero norte (Distrito de Santa Marta) y por medio de revisión bibliográfica. En la primera fase, se identificaron los establecimientos turísticos por medio de la búsqueda de prestadores de servicios en el Registro Nacional de Turismo del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (http://minturismo.mincomercio.gov.co/prestadores/prestadores_report.asp). De esta manera, se determinaron 72 hoteles en El Rodadero y El Rodadero Sur. Se descartaron los apartamentos registrados como establecimientos de alojamiento y hospedaje, ya que los dueños tienen muy poca injerencia sobre todo el edificio. Como resultado, se obtuvo un total de 38 casos válidos, de los cuales 26 fueron en El Rodadero Norte.

En la siguiente fase, se analizó si los techos de los hoteles son aptos para la instalación del sistema de cubiertas verdes. Se tuvo en cuenta los techos planos y de baja pendiente, descartando los techos de alta pendiente y hechos de materiales de baja durabilidad. Los edificios de los hoteles fueron identificados por medio del *Mapa Ruteable de Colombia* para Garmin GPS Versión 12.0 (<http://www.pamacol.com/mapas.php>) con el cual se ubicaron los hoteles en el software *Google Earth* (earth.google.com). Sin embargo, la baja precisión del mapa ruteable no permitió identificar la posición de los edificios en las imágenes de satélite en Google Earth. Por lo tanto, la geo-referenciación manual se llevó a cabo entre el 20 y 24 de junio de 2011, lo que adicionalmente permitió inspeccionar visualmente la prefactibilidad de los sistemas en los techos. Como resultado del análisis, se redujo el número de casos a 23. La visita reveló que dos establecimientos estaban en proceso de remodelación de la planta física y uno fue descartado por la alta pendiente del techo.

Posteriormente, se aplicaron encuestas y entrevistas estructuradas enfocadas en la percepción de los gerentes de los hoteles acerca de los sistemas de techos verdes. El tamaño de la muestra se calculó con base en 23 hoteles y un nivel de confianza de 95%, y fue necesario hacer 22 entrevistas. Debido a la dificultad de entrevistar los gerentes y dueños de todos los hoteles, se obtuvo 18 entrevistas válidas, lo que disminuyó el nivel de confianza a 11%. Para la sistematización de la mayoría de las preguntas, fue utilizada la escala Likert de 1 a 5, donde 1 representó respuesta negativa, 3 regular y 5 positiva.

Para poder analizar la disponibilidad de los gerentes de hoteles para instalar techos verdes, se presentaron los beneficios del sistema para el hotel y El Rodadero. Este dato se obtuvo cruzando datos de la efectividad promedio de techos verdes en las condiciones climáticas similares a las de El Rodadero, con la cobertura de los techos de todos los hoteles en El Rodadero aptos para instalar azoteas verdes. La cobertura se calculó con el software SIG ArcGIS® 9.3 (www.arcgis.com) utilizando las imágenes de satélite, derivados de Google Earth®, de los techos geo-referenciados previamente. Finalmente, las encuestas fueron tabuladas y procesadas en el Paquete Estadístico para Ciencias Sociales SPSS® 19.0.

3. RESULTADOS

La factibilidad de la instalación de sistemas de techos verdes depende de varios factores que pueden ser clasificados en cuatro grupos principales: económicos, naturales, psicológicos y normativos relacionados con las políticas. Cada uno de estos grupos depende de condiciones locales; en otras palabras, la viabilidad de instalación de techos verdes varía, no sólo de un techo a otro, sino de una ciudad a otra, ya que los factores culturales y climatológicos son diferentes, como también los beneficios que los techos verdes pueden proporcionar a una ciudad particular.

Beneficios de techos verdes para El Rodadero

El Rodadero es el principal balneario de la ciudad de Santa Marta. Durante más de 50 años, el destino se ha vuelto el principal centro de la actividad turística en la región, ofreciendo una amplia oferta hotelera e inmobiliaria y una extensa zona de playa (1030 m), complementada por una variada oferta de servicios turísticos. No obstante, desde el principio, El Rodadero ha crecido de una manera no planificada, lo que llevó el destino a sus límites de capacidad de carga física. En consecuencia, El Rodadero ha sido afectado por el deterioro en la calidad de sus playas, la alta informalidad del comercio y los problemas de movilidad vehicular (Alcaldía Distrital de Santa Marta, 2009).

El crecimiento poblacional ha causado uno de los principales problemas que afecta este destino turístico: la sobrecarga del sistema de alcantarillado en temporada de lluvias y durante la alta temporada turística. Según el Plan del Ordenamiento Territorial de Santa Marta, no existe alcantarillado pluvial, por lo que el alcantarillado sanitario actúa como receptor de aguas de escorrentía (Alcaldía Distrital de Santa Marta, 2000). En consecuencia, el rebosamiento de aguas servidas en las calles principales afecta la movilidad y la salud de habitantes y turistas. Debido a su capacidad de retención de aguas lluvias y retardación del momento crítico de descarga, los techos verdes podrían solucionar este problema.

El Rodadero se puede dividir en dos zonas: norte y sur. Esta investigación contempla solamente la zona norte, que es el centro del desarrollo hotelero en El Rodadero. La zona norte tiene una cobertura urbana de aproximadamente 616.000 m², de los cuales los techos cubren el 57% (351.120 m²). Los 23 hoteles identificados en esta zona cuentan con 9.640 m² de techos, 2.75% de todos los techos en El Rodadero norte. Este es un porcentaje muy bajo, considerando que los beneficios indirectos de las cubiertas verdes se evidencian cuando éstas cubren por lo menos 10% de todos los techos en la ciudad. Para evidenciar la relación entre la cobertura y los beneficios se puede citar el caso de Bruselas. Según los cálculos de Mentens et al. (2006), si la ciudad tuviera 10% de los edificios cubiertos por techos verdes, la retención de aguas lluvias que entran al alcantarillado aumentaría en solamente un 2.7%. Aunque ésta es una opción viable, se necesitarían soluciones adicionales para realmente superar la cuestión de aguas lluvias.

Por las razones similares, la gran ventaja de los techos verdes como una solución para el fenómeno de *isla de calor*, simplemente no aplica al caso de El Rodadero. El Rodadero Norte y Sur junto con el Corregimiento de Gaira tienen solamente 42.800 habitantes, por lo que no se registra el efecto de aumento de temperatura en la zona urbana. En este marco, se necesitaría que las cubiertas verdes cubran una gran parte de la ciudad para disminuir la temperatura, lo que parece poco viable en la zona de estudio.

Por otra parte, en términos de la cobertura por áreas verdes, las azoteas ecológicas podrían proporcionar una solución viable. En El Rodadero Norte existe solamente un pequeño parque de menos de 400 m². Dado que los techos verdes capturan 0,2 kilogramos de PM 10 (Material particulado) por m² al año (Wong et al., 2003), solamente los del sector hotelero atraparían 1928 kg del polvo al año.

Las barreras para implementar techos verdes en El Rodadero

Aunque los techos verdes han sido implementados con éxito en muchos países, su viabilidad está determinada por varios factores locales como también regionales y nacionales. Algunos de estos factores son fácilmente determinables, mientras que otros requieren investigaciones adicionales. No cabe duda que es necesario realizar un arduo estudio de estos factores, debido a que la implementación prematura de cubiertas verdes en condiciones diferentes a las descritas en numerosas publicaciones presenta alto riesgo de que su funcionamiento no sea óptimo. Con base en las experiencias de diferentes países, se identificaron los principales grupos de factores que influyen en la implementación de los techos verdes.

- **Los factores naturales**

Dentro de los factores naturales se encuentran el clima, la precipitación y la vegetación. El clima es considerado un factor crítico para el éxito de un sistema de cubierta verde. Los techos extensivos del clima Norte-europeo son relativamente libres de mantenimiento. Sin embargo, Williams et al. (2010) demuestra que las azoteas verdes no han logrado la misma popularidad en Australia por las condiciones climáticas, más precisamente por los periodos largos de calor y sequía. El clima de Santa

Marta es aún más seco que el de Melbourne, Sídney o Brisbane. Santa Marta cuenta con un periodo de sequías muy marcado durante 5 meses. Así, desde diciembre hasta abril, la ciudad recibe menos de 10 mm. de lluvia al mes. En comparación, Melbourne recibe entre 47 y 66 mm. durante todo el año, Sídney entre 77 y 130 mm., mientras que Brisbane entre 33 y 157 mm., con la excepción del mes de julio cuando recibe 23 mm. (www.weather.com). Debido a estos largos periodos de escasez de precipitación, la probabilidad de sobrevivencia de las plantas es muy baja. Igualmente, el costo adicional de instalar un sistema de riego puede introducir niveles de riesgo inaceptables. En estas condiciones, solamente los techos verdes intensivos funcionarían sin mayor complicación.

Para sobrevivir a las condiciones climáticas de la ciudad de Santa Marta, las plantas requieren un nivel de tolerancia a altas temperaturas y largos periodos de escasez de agua. Por ende, son pocas las especies aptas para techos verdes extensivos (Nagase y Dunnett, 2010). Las especies de Sedum son las más comúnmente utilizadas, ya que se adaptan fácilmente a ambientes secos (Dunnett y Kingsbury, 2008). Sin embargo, a pesar de la adaptabilidad de Sedum, el clima de Santa Marta no permitiría su sobrevivencia sin riego intensivo, lo que conlleva a concluir que es necesaria una investigación enfocada a la búsqueda de especies nativas aptas para techos verdes.

Las especies dominantes en la región de Santa Marta pertenecen al ecosistema de monte seco espinoso, según la clasificación Holdridge (Ruiz et al., 2002). Esto significa que su adaptación a condiciones climáticas exige que tengan un sistema de raíces profundas, que les permita acceder a los acuíferos subterráneos. No obstante, esta característica las hace inadecuadas para los techos verdes, debido al perfil poco profundo del sustrato. En consecuencia, las plantas nativas deben ser seleccionadas y analizadas no sólo desde el punto de vista de sobrevivencia, tasa de crecimiento y reacción a las condiciones de escasez de agua por largos periodos de tiempo, sino también de sus características físicas como la altura y profundidad del sistema de raíces.

• Los factores económicos

A pesar de que los investigadores están de acuerdo en que las azoteas traen muchos beneficios de diferentes tipos, el alto costo de instalación está visto como una de las principales barreras para su implementación masiva. La popularidad de los techos verdes en países como Colombia está adicionalmente afectada por el alto riesgo de que el sistema de cubierta no cumpla con las expectativas de su efectividad. Los beneficios, en términos cuantitativos, varían considerablemente de un estudio a otro, ya que la efectividad de los sistemas depende de muchos factores locales. En consecuencia, la falta de ejemplos para inspirar a los constructores y la falta de estudios a nivel local, que confirmen los beneficios ambientales y económicos de los techos verdes, son las verdaderas barreras para la implementación de esta tecnología (Williams et al., 2010).

En diferentes países del mundo, en la mayoría en países europeos y norte-americanos, se han hecho estudios de costo/beneficio de los techos verdes. En cada uno de estos casos, se observó la diferencia entre el costo de construcción y mantenimiento, y los beneficios directos por un ciclo completo de vida de una cubierta verde. Aunque el costo de un techo verde puede ser 20% en Londres (Livingroofs.org y Ecology Consultancy, 2004), 26% en Washington (Clark, 2008), 54% en Washington (Paladino & Company, Inc., 2004) y hasta 83% en la Universidad de Michigan (Niu, 2010) más alto que el costo de un techo convencional, los beneficios directos a largo plazo como la reducción del volumen de aguas lluvias, el ahorro de electricidad y la vida extendida de la cubierta pueden sobrepasar su costo. En este marco, Carter y Keeler (2008) calcularon que el costo de un techo verde es 10 a 14% más alto que el costo de un techo regular después de un completo ciclo de vida de 60 años. Resultados similares obtuvo Paladino & Company (2004), concluyendo que a través del ciclo de vida de 40 años, el techo verde costará un 10% más que un techo convencional. Finalmente, el estudio de Dinsdale et al. (2006) demuestra que un techo verde puede llegar al punto de equilibrio entre los costos y beneficios monetarios en 20 años, asumiendo que su vida total es de 30 años. A pesar de que los estudios demuestran resultados diferentes, los investigadores están de acuerdo sobre los beneficios a largo plazo de estos sistemas (Carter y Keeler, 2008), aunque muchos de ellos son indirectos y no pueden ser cuantificados en términos monetarios.

En Colombia, los estudios del ciclo de vida de un techo verde son escasos y en el caso de la costa Caribe, no existen. Cabe preguntarse si los análisis costo/beneficio llevados a cabo en países muy diferentes a Colombia son creíbles, ya que los costos son diferentes y algunos de los beneficios directos no aplican en el caso Colombiano. De la misma manera, las tasas por recolección de aguas

lluvias, tan comunes en algunos países europeos y ciudades norteamericanas, no están implementadas en Santa Marta o Colombia, por lo que el periodo de recuperación de la inversión podría ser más largo. Similar, el nivel de ahorro de electricidad de hasta un 50% es dudoso en el caso de edificios de más de 10 pisos, que predominan el sector hotelero en el Rodadero, porque los techos verdes aíslan solamente el último piso. Por otro lado, el beneficio principal de un techo verde es su larga vida en comparación con un techo convencional, por lo cual todavía no se debe descartar la viabilidad económica de estos sistemas en el Distrito de Santa Marta.

El costo por m² de una cubierta verde ha sido calculado por los pioneros de esta tecnología en el país. Según la empresa Biotectónica, instalar un m² de cubierta verde extensiva vale entre 180 mil y 200 mil pesos. Según las encuestas y entrevistas hechas por los autores, los dueños y gerentes de hoteles consideran que el costo de los techos verdes es demasiado alto, a pesar de los beneficios. Así, solamente un 11.1% de los encuestados estaría dispuesto a instalar un techo verde, dado un tiempo de 25 años para la recuperación de la inversión. Cabe resaltar que según los estudios anteriormente citados, la inversión en un techo verde necesita un periodo mínimo de 20 años para recuperarse. Una pregunta similar, con el periodo reducido a 10 años, recibió aprobación de 55.6% de los encuestados. Finalmente, en el caso hipotético de la recuperación de la inversión en 5 años, todos los hoteleros estarían dispuestos a instalar uno. Este resultado demuestra que el tiempo de recuperación de la inversión es el factor clave para implementación de esta tecnología a gran escala. También se evidencia que la responsabilidad socio-ambiental en el sector hotelero en El Rodadero es muy escasa.

Es necesario destacar que este enfoque económico de la mayoría de los hoteleros está inducido en mucha parte por la competencia al interior del sector y por lo tanto, por un moderado ingreso de algunos de los establecimientos. Además, varios hoteles investigados son relativamente nuevos y todavía necesitan recuperar la inversión hecha para su construcción. Como lo exponen los gerentes, sería mucho más rentable invertir en la ampliación de la oferta hotelera y recuperar esta inversión durante una temporada alta, que gastar más de 50 millones de pesos en un techo verde que necesita más de 20 años para recuperar su costo. Por otro lado, se observó la tendencia de los hoteles de categoría alta (4 y 5 estrellas o equivalente) de tener más énfasis en la calidad ambiental y la responsabilidad social. Esto es fácilmente entendible, ya que los hoteles de categorías superiores hacen un mayor esfuerzo para obtener certificaciones de calidad turística (Green Globe, NTS-TS) o de gestión ambiental (ISO 14001). También el gasto es menor en comparación con los ingresos que generan. En este contexto, dos hoteles de categorías superior declararon que están interesados en instalar techos verdes intensivos y ya han consultado expertos en el tema.

• **Los factores normativos relacionados con las políticas**

Un estudio publicado en 2008 encontró que en las ciudades donde prima la implementación de los techos verdes, las políticas y los incentivos económicos han tenido mayor impacto sobre la acogida de esta tecnología (Drivers Jonas, 2009). Por ejemplo, en países como Alemania, Holanda, Japón, Estados Unidos, Suiza y Suecia, desde hace varias décadas, existen políticas para premiar económicamente prácticas sostenibles en los edificios (Ibáñez, 2008; López, 2010). Tokio y Toronto han demostrado que se puede incentivar la construcción de techos verdes a través de legislación y financiación municipal. En este marco, algunas ciudades en Suiza implementaron incentivos financieros hasta 50% del costo total del techo verde.

En Colombia, solamente en Bogotá, la Secretaria Distrital de Planeación y la Secretaria Distrital de Ambiente están adelantando el Código de Construcción Sostenible que orientará a los constructores sobre las normas que deben seguir para hacer edificaciones sostenibles y sobre los incentivos que conseguirán con ello. Con el mismo fin, trabaja el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible que plantea implementar el Sello Ambiental Colombiano para Edificaciones Sostenibles en 2011. Sin embargo, estas dos iniciativas encajadas en la promoción de tecnologías sostenibles en los edificios son de carácter voluntario. Según Carter y Fowler (2008), estos tipos de recomendaciones y políticas no han resultado en incentivos financieros y regulaciones que han fomentado la industria de techos verdes en muchos países. En caso de Colombia y la mayoría de los países latinoamericanos, los incentivos económicos por parte de gobiernos locales son difíciles de conseguir, ya que hay muchas cuestiones de mayor importancia en las agendas de los gobiernos.

Como consecuencia, la falta del apoyo político, la ausencia de criterios y principios de sustentabilidad en los marcos regulatorios vigentes para la construcción y la falta de políticas son

algunas de las razones por las cuales los techos verdes no han logrado un mínimo reconocimiento en la costa Caribe. La experiencia de muchas ciudades demuestra que muchos de los obstáculos para la implementación de techos verdes son superados cuando nuevas políticas fomentan la demanda para productos y proveedores (Williams et al., 2010). Como lo demuestra el resultado de la encuesta, sí el gobierno ofreciera rebajas de impuestos para edificaciones sostenibles, además de introducir incentivos económicos de hasta el 50% del costo de la cubierta verde, todos los hoteleros estarían dispuestos a instalar un techo verde. Este es el secreto del éxito de esta tecnología en muchos países.

- **Los factores psicológicos**

Las barreras psicológicas en la adopción de la tecnología resultan de la falta de conocimiento por parte de los actores (arquitectos, planificadores, constructores, dueños de edificios y habitantes de los edificios) y de las características culturales de la costa Caribe de Colombia. Estas dos características son probablemente las más significativas en la zona de estudio. Así, solamente el 27.8% de los hoteleros entrevistados ha oído hablar de los techos verdes; y ninguno de ellos conocía los beneficios que éstos proporcionan. Lo anterior conlleva a que los techos verdes sean descartados en la fase del diseño de los edificios, debido a los subestimados beneficios del sistema (Drivers Jonas, 2009). Esta situación está además reforzada por la falta de información técnica confiable y la baja capacidad de asimilación pública del concepto de los techos verdes y sus beneficios (López, 2010).

En el caso de El Rodadero, las encuestas revelan que la limitación principal para adoptar cualquier tipo de tecnología sostenible es la falta de información y divulgación de los costos y beneficios a largo plazo. A pesar de que los hoteleros están de acuerdo con que las tecnologías sostenibles son efectivas y rentables, no quieren arriesgarse sin tener mayor conocimiento sobre éstas. Por tal motivo, los hoteles implementan medidas básicas como bombillos ahorradores, políticas internas de ahorro de energía y agua; algunos separan los residuos sólidos y solamente dos implementan algún tipo de tecnología sostenible más avanzada. No obstante, estas medidas fueron tomadas más por razones económicas que por sus preocupaciones por el medio ambiente. Esto indica que los beneficios económicos directos a corto plazo prevalecen en el análisis de costo/beneficio hecho por los interesados en estas tecnologías.

4. CONCLUSIONES

Numerosos estudios confirman que los techos verdes pueden ser utilizados como una herramienta viable para la gestión ambiental. Las cubiertas ecológicas proporcionan una variedad de beneficios, desde retención de aguas lluvias, ahorro de energía, filtración de partículas contaminantes en el aire y producción del oxígeno, hasta beneficios psicológicos y sociales. No obstante, el alto costo y el largo tiempo de recuperación de la inversión los hacen poco atractivos para los constructores, dueños de edificios o residentes. Según los resultados del estudio, los factores económicos son los que determinan la disponibilidad de los gerentes a instalar los techos verdes y no la preocupación por el medio ambiente, lo cual es el motivo principal en los países líderes en el tema. De esta manera, los empresarios estarían dispuestos a adoptar la tecnología bajo la condición del corto tiempo de recuperación de la inversión (menor de 10 años) y mayores beneficios económicos después de este tiempo.

Las barreras económicas tienden a ser las más comunes. Por ello, los expertos en el tema recomiendan implementar políticas que utilicen incentivos financieros como herramientas de fomento para lograr una mejor y más rápida implementación de los techos verdes. Los incentivos financieros indirectos reducen los montos de impuestos que deben pagarse, mientras que los directos cubren algunos de los gastos de instalación de una cubierta verde. Mientras que la ausencia de los incentivos económicos es una barrera para una estrecha aceptación de techos verdes, los formuladores de las políticas tienden a ser reacios a incluir esta tecnología en códigos de construcción y directrices de planificación hasta que haya datos de calidad donde se evalúen sus costos y beneficios en el contexto local.

Así mismo, el desconocimiento del desempeño del sistema de naturación en condiciones locales hace muy riesgoso implementarlo desde el punto de vista económico. El clima cálido y los largos periodos de sequías pueden afectar la efectividad y el costo de la cubierta verde. Las especies

de plantas locales aptas para vivir en condiciones de escasez de agua normalmente requieren una mayor profundidad de sustrato (30- 50 cm.) y en algunos casos un mínimo riego, lo que aumenta no sólo el costo de cubierta, sino también su peso. Como resultado, el peso puede impedir la instalación de la cubierta verde sin fortalecimiento estructural del techo. En estas condiciones, la opción más segura y atractiva, especialmente para el sector hotelero, es la instalación de techos verdes intensivos con riego. Aunque esta opción es muy costosa, los beneficios en términos de atractivo turístico son también altos.

En consecuencia de lo expuesto, los techos verdes pueden ser utilizados como una herramienta para la gestión ambiental, pero la viabilidad de su implementación a gran escala en El Rodadero es muy baja, debido a las barreras económicas, naturales, psicológicas y a la falta de políticas referentes a esta tecnología. Cabe destacar que los techos verdes proporcionan mayores beneficios indirectos para la ciudad cuando cubren una gran superficie: por lo menos el 10% de todos los techos en la ciudad.

Aunque los techos verdes están ganando cada vez más importancia en las agendas de los gobiernos locales, esta tecnología en Colombia está apenas en la fase piloto. En la costa Caribe, las cubiertas verdes no han logrado un mayor reconocimiento, como lo demuestran los resultados de las entrevistas con los gerentes de los hoteles en El Rodadero. Esta situación se debe a las barreras que existen para la adopción de esta herramienta a gran escala, por lo que se necesitan más estudios en condiciones locales para definir la utilidad de esta tecnología en el Distrito de Santa Marta. Finalmente, se recomienda realizar mayor esfuerzo para aumentar la conciencia de la ciudadanía acerca del tema para fomentar el proceso de implementación de una política local de techos verdes.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2009. Construcción Sustentable: Del gris al verde. Promoción de cubiertas verdes en la Ciudad de Buenos Aires. Agencia de Protección Ambiental. Buenos Aires. 18 p.
- Akbari, H., 1995. Cooling our communities: An overview of heat island project activities. Annual Report, Heat Island Group. Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley.
- Akbari, H., y Konopacki, S., 2005. Calculating energy- saving potentials of heat- island reduction strategies. **Energy Policy**, 33 (6), 721- 756.
- Alcaldía Distrital de Santa Marta, 2009. Plan estratégico de turismo 2009- 2011: Hacia un destino sostenible. Alcaldía Distrital de Santa Marta. Santa Marta.
- Baumann, N., 2006. Ground-nesting birds on green roofs in Switzerland: Preliminary observations. **Urban Habitats**, 4, 37- 50.
- Carter, T. y Fowler, L., 2008. Establishing green roof infrastructure through environmental policy instruments. **Environmental Management**, 42 (1), 151– 164.
- Carter, T., y Jackson, C., 2007. Vegetated roofs for storm water management at multiple spatial scales. **Landscape and Urban Planning**, 80 (1/2), 84- 94.
- Carter, T., y Keeler, A., 2008. Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. **Journal of Environmental Management**, 87 (3), 350- 363.
- Clark, C., 2008. Green roof valuation: A probabilistic economic analysis of environmental benefits. **Environmental Science and Technology**, 42 (6), 2155- 2161.
- Currie, B. A., y Bass, B., 2010. Using green roofs to enhance biodiversity in the City of Toronto. A discussion paper prepared for Toronto City Planning. Toronto. 42 p.
- Dinsdale, S., Pearen, B., y Wilson, C., 2006. Feasibility study for green roof application on Queen's University campus. Documento interno. Queen's University. Kingston, Ontario.
- Drivers Jonas, 2009. Greater Manchester green roof programme: feasibility study. [Consulta 2 septiembre 2011]. <<http://www.djdeloitte.co.uk/img.aspx?docid=34058&fldname=Attachmen tFile&n=0&langid=1&log=1>>

- Dunnett, N., y Kingsbury, N., 2008. *Planting Green Roofs and Living Walls* (2nd edition). Timber Press. Portland, Oregon.
- Fujii, S., Cha, H., Kagi, N., Miyamura, H., y Kim, Y. S., 2005. Effects on air pollutant removal by plant absorption and adsorption. **Building and Environment**, 40 (1), 105- 112.
- García, I., 2010. Beneficios de los sistemas de naturación en las edificaciones. **SNES-ABC**, 22.
- Gernot, M., 2004. *Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos. Fin de Siglo*. Montevideo. 85 p.
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2010. Resolución N° 175-APRA/10 de 15 de Junio de 2010.
- Hartig, T., Mang, M., y Evans, G. W., 1991. Restorative effects of natural environment experience. **Environment and Behavior**, 23 (1), 3- 26.
- Herman, R., 2003. Green roofs in Germany: yesterday, today and tomorrow. En *Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Chicago (pp. 41- 45). En *Proceedings of 1st North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Chicago. 29- 30 May 2003. The Cardinal Group. Toronto.
- Hui, S. C. M., 2011. Green roof urban farming for buildings in high-density urban cities. Invited paper for the Hainan China World Green Roof Conference, 18- 21 March 2011. Hainan, China.
- Ibáñez Gutiérrez, R. A., 2008. Techos vivos extensivos: Una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia. **Alarife: Revista de arquitectura**, 61 (16), 21- 36.
- Jim, C. Y., y Tsang, S. W., en prensa. Ecological energetics of tropical intensive green roof. **Energy and Buildings**.
- Johnston, J., y Newton, J., 2004. *Building Green: A guide to using plants on roofs, walls and pavements*. Mayor of London. London.
- Jun Yang, J., Yu, Q., y Gong, P., 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. **Atmospheric Environment**, 42 (31), 7266- 7273.
- Kortright, R., 2001. *Evaluating the Potential of Green Roof Agriculture: a demonstration project*. City Farmer. Ontario.
- Kosareo, L., y Ries, R., 2007. Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. **Building and Environment**, 42 (7), 2606- 2613.
- Kuhn, M. y Peck, S., 2003. *Design guidelines for green roofs*. Ontario Association of Architects Ontario. 22 p.
- Landsberg, H. E., 1981. *The urban climate*. Academic Press. New York.
- Li, J., Wai, O. W. H., Li, Y. S., Zhan, J., Ho, A., Li, J., y Lam, E., 2010. Effect of green roof on ambient CO2 concentration. **Building and Environment**, 45 (12), 2644- 2651.
- Livingroofs.org y Ecology Consultancy Ltd., 2004. *Green Roofs – Benefits and cost implications*. Birmingham City Council. Birmingham. 83 p.
- López Serna, M., 2010. *Un acercamiento a las Cubiertas Verdes*. F.B.P S.A. Medellín.
- Nagase, A., y Dunnett, N., 2010. Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: Effects of watering and diversity. **Landscape & Urban Planning**, 97 (4), 318- 327.
- Niu, H., 2010. Scaling of economic benefits from green roof implementation in Washington, DC. **Environmental Science and Technology**, 44 (11), 4302- 4308.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., y Stevens, J. C., 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. **Urban Forestry & Urban Greening**, 4, 115- 123.
- Paladino & Company, Inc., 2004. *Green roof feasibility review: King County office project*. Paladino & Company, Inc. Washington.
- Renterghem, T. V., y Botteldooren, D., 2009. Reducing the acoustical facade load from road traffic with green roofs. **Building and Environment**, 44 (5), 1081- 1087.

- Renterghem, T. V., y Botteldooren, D., 2011. In-situ measurements of sound propagation over extensive green roofs. **Building and Environment**, 46 (3), 729- 738.
- Ruiz, A., Cavelier, J., Santos, M., y Soriano, P. J., 2002. Cacti in the Dry Formations of Colombia: Chapter 16 (pp. 324- 341). En T. H. Fleming, y Valiente-Banuet (Eds.). Cacti in the Dry Formations of Colombia. Arizona University Press. Tucson, Arizona.
- Samangooei, M., 2006. Green spaces in the sky. What role do green roofs play in a Twenty-first century city? Tesis de grado no publicada. Department of Architecture. Oxford Brookes University. Oxford.
- Scholz- Barth, K., y Tanner, S., 2004. Federal Technology Alert: Green Roofs. DOE Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE). U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy. Washington.
- Teemusk, A., y Mander, U., 2009. Greenroof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: A case study from Estonia. **Building and Environment**, 44 (3), 643– 650.
- Williams, N. S. G., Rayner, J. P., y Raynor, K. J., 2010. Green roofs for a wide brown land: Opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. **Urban Forestry & Urban Greening**, 9 (3), 245-251.
- Wong, N. H., Tay, S. F., Wong, R., Ong, C. L., y Sia, A., 2003. Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore. **Building and Environment**, 38 (3), 499- 509.
- Wong, N. H., Cheong, D. K. W., Yan, H., Soh, J., Ong, C. L., y Sia, A., 2003. The effect of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. **Energy and Buildings**, 35 (4), 353- 364.
- Yok Tan, P., y Sia, A., 2005. A pilot green roof research project in Singapore (pp. 4- 6). En Proc. of 3rd North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities, Washington, DC.