

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



“Techos verdes como una opción para disminuir la temperatura en los edificios”

POR:

PAUL EDUARDO CERVANTES PADRÓN

MONOGRAFÍA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

"Techos verdes como una opción para disminuir la temperatura en los edificios"

MONOGRAFÍA

POR:

PAUL EDUARDO CERVANTES PADRÓN

ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobada por:

ASESOR PRINCIPAL:


Dr. Ricardo Miranda Wong

ASESOR:


Ing. Joel Limones Ayitia

ASESOR:


M.C Eleno Hernández Martínez

ASESOR:


M.C. Edgardo Cervantes Alvarez


M.C. Víctor Martínez Cueto

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

"Techos verdes como una opción para disminuir la temperatura en los edificios"

MONOGRAFÍA

POR:

PAUL EDUARDO CERVANTES PADRÓN

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JUERGO EXAMINADOR:

PRESIDENTE:


Dr. Ricardo Miranda Wong

VOCAL:


Ing. Joel Limones Avitia

VOCAL:


M.C. Eleno Hernández Martínez

VOCAL SUPLENTE:


M.C. Edgardo Cervantes Álvarez


M.C. Víctor Martínez Cueto
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2016

DEDICATORIA

A mis padres:

Edgardo Cervantes Álvarez y Paula Padrón Solís por el gran amor que me han dado hasta el momento, por el apoyo incondicional durante mis estudios y por confiar en mí. Solo les quiero decir que son lo mejor para mí, los amo. Que dios los bendiga.

A mis hermanos:

Lucy, Amado y Lupe por brindarme su apoyo tanto moral como material durante mis estudios profesionales, por el cariño que nos tenemos y por ser muy buenos hermanos, los quiero.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por abrirme las puertas y dejarme estudiar una carrera profesional en ella.

Al Dr. Ricardo Miranda Wong porque además de haberme impartido clases como profesor, me asesoró para poder terminar este trabajo.

Al Ing. Joel Limones Avitia, al M.C. Edgardo Cervantes Álvarez y al M.C. Eleno Hernández Martínez por haber aceptado colaborar en la revisión de mi trabajo y por corregir los detalles faltantes.

A mi amigo Samuel Ricardo Aguilar Noyola que fue un segundo profesor durante toda la carrera y sin su apoyo no hubiera podido terminar este trabajo.

A mi amiga Jiovana Portillo García por ser una tercera hermana y haberme ayudado a terminar este trabajo presionándome mucho.

RESUMEN

La energía es la responsable del desarrollo económico y tecnológico de la sociedad; ésta es usada para las labores diarias en el hogar así como para los procesos industriales que se llevan a cabo en la sociedad. Es por esto que es importante mantener un abastecimiento continuo de energía; en un hogar esto es posible mediante la implementación de las llamadas tecnologías verdes. Este trabajo se enfoca en el estudio de diferentes ciudades que pusieron en marcha los techos verde en casas y edificios muestra dando como resultado una diferencia térmica y energética considerable para su aplicación en temporadas cálidas.

Palabras clave: energía, eficiencia, aislamiento, techo verde, temperatura, consumo energético

CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN	iii
CONTENIDO DE TABLAS	v
CONTENIDO DE GRAFICOS	v
CONTENIDO DE FIGURAS.....	v
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
La Energía	4
• El ser humano y la energía	4
• Fuentes renovables de energía	4
• La situación actual de la energía	5
Eficiencia Energética	5
• Eficiencia Energética en el hogar	5
• El papel del gobierno en la eficiencia energética.....	6
Tecnologías Verdes	7
• Técnicas pasivas de enfriamiento	7
• Tecnología solar	12
Edificios Sustentables.....	13
EJEMPLOS DE TECHOS VERDES	15
CONCLUSIÓN.....	20
RECOMENDACIONES	21
LITERATURA CITADA.....	22

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1.....	9
Tabla 2.....	15
Tabla 3.....	19

CONTENIDO DE GRAFICOS

Grafico 1.	16
Grafico 2.	18

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1.	10
-----------------------	-----------

INTRODUCCIÓN

La energía es el alma del mundo moderno. El crecimiento económico y el desarrollo tecnológico de cada país dependen de ella y la disponibilidad de la misma es un indicador de la calidad de vida de dicho país (Ullah *et al.*, 2013). El uso de energía en el hogar está relacionado con las actividades diarias. La mejora en el uso de esta energía es de gran importancia, no solo para reducir el consumo de energía, sino para mejorar la calidad de vida (An *et al.*, 2014). Globalmente, los edificios son responsables de aproximadamente el 40% del consumo energético anual de todo el mundo (Geetha y Velraj, 2012), y de hasta el 30% de las emisiones de dióxido de carbono (Alrashed y Asif, 2015). Mucha de esta energía es para la provisión de iluminación, calefacción, enfriamiento y acondicionamiento del ambiente (Geetha y Velraj, 2012). Debido al incremento de los problemas energéticos locales y globales, ha habido un creciente interés en fuentes de energía renovables, particularmente la solar, que puede ser usada para producir diversas comodidades, incluyendo poder, calor, agua caliente y agua fresca (Bozkurt *et al.*, 2012). Ya que las energías renovables dependen de las fuerzas naturales, que son complejas y difíciles de controlar, encontrar soluciones óptimas es un reto (Bongards *et al.*, 2014).

A medida que la sociedad avanza, se incrementa la instalación de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, con el fin de crear un ambiente agradable (Song *et al.*, 2013), junto con el desarrollo de la sociedad, más y más personas creen que la conservación de la energía no es sólo reducir el consumo de energía sino también mejorar la eficiencia energética, lo que significa usar energía cuando se necesita y reducir su uso cuando se puede (An *et al.*, 2014), sin embargo, la búsqueda de un ambiente agradable dentro de los edificios, se contrapone a la búsqueda de la reducción del consumo energético y a la protección ambiental. Es necesario hacer algo al respecto (Song *et al.*, 2013). Una forma de hacerlo es mediante el uso de las tecnologías que se presentan en este trabajo.

La primera de estas tecnologías, son los techos verdes, una técnica de enfriamiento pasivo que detiene la radiación solar antes de llegar a la estructura. Los techos verdes se dividen en dos categorías: intensiva y extensiva (Pandey *et al.*, 2013). Al hablar de techos verdes el mayor reto que encontramos es que las diferencias climáticas regionales pueden imponer condiciones únicas en el desempeño funcional de las plantas y sus requerimientos de manejo asociados (Schroll *et al.*, 2011), por lo que el uso de plantas nativas puede dar un valor biorregional a los proyectos de techos verdes, con potenciales beneficios para el ecosistema local y la distribución de alimentos (Thuring *et al.*, 2010). Actualmente no existen estándares nacionales para los techos verdes y, como resultado, los materiales, la configuración y los métodos de instalación para los techos verdes pueden variar ampliamente de lugar a lugar (Carson *et al.*, 2013). En cuanto al uso de esta técnica, se ha encontrado que la disminución de la temperatura alcanza hasta 10°C en un clima caliente y seco (Djedjig *et al.*, 2013).

La segunda tecnología se refiere a los Sistemas Solares Domésticos (SSD), en este caso, orientados a la producción de energía eléctrica.

Los paneles fotovoltaicos han disminuido su costo un 90% en los últimos 5 años; por lo tanto, los sistemas térmicos solares son actualmente una alternativa económica a los sistemas de calefacción convencionales en muchos países (Pagliaro, 2014). Al mismo tiempo, tienen ciertas ventajas, como por ejemplo poco mantenimiento y un bajo costo de operación, y no tiene efectos negativos en el ambiente (Mittal *et al.*, 2005).

De cualquier forma, los Sistemas Solares Domésticos no se tratan sólo de paneles fotovoltaicos.

Dado que la naturaleza electrónica del cristal semiconductor en las lámparas LED, que actúa como la fuente de luz, funciona en bajos rangos de voltaje, éstas pueden ser adaptadas fácilmente a un Sistema Solar Doméstico (Calderón *et al.*, 2015).

OBJETIVO

Conocer la eficiencia térmica y energética de los diferentes tipos de techos verdes en distintas regiones del mundo.

REVISIÓN DE LITERATURA

La Energía

Desde el principio mismo de la humanidad, el ser humano ha intentado manejar distintos tipos de energía. Por ejemplo, el ser humano creó fuego a través de la fricción de dos rocas para quemar algo para conseguir luz y calor. A través de los años, el ser humano ha descubierto distintas fuentes de energía como el gas, el petróleo y el carbón. Estos combustibles fósiles se utilizan en el mundo moderno para el transporte, la comunicación, la industria, la educación y otros propósitos en el hogar (Ullah *et al.*, 2013).

- El ser humano y la energía

La humanidad se beneficia de una multitud de recursos y procesos provistos por los ecosistemas naturales. Incluye productos como el agua potable, los bosques, la biodiversidad y la energía. Al aumentar la población humana, también lo hacen la demanda de recursos impuesta sobre los ecosistemas y los impactos de nuestra huella global (Ceccato *et al.*, 2014).

- Fuentes renovables de energía

El calentamiento global, la reducción del ozono y la escasez energética han desencadenado investigaciones sobre tecnologías de energías renovables (Zhai *et al.*, 2007), particularmente la solar, que puede ser usada para producir diversas comodidades, incluyendo poder, calor, agua caliente y agua fresca (Bozkurt *et al.*, 2012).

Ya que las energías renovables dependen de las fuerzas naturales, que son complejas y difíciles de controlar, encontrar soluciones óptimas es un reto (Bongards *et al.*, 2014).

Está ampliamente considerado que la des-carbonización de la electricidad será relativamente más sencilla que la de otros sectores ya que las tecnologías de bajo carbón ya están disponibles o podrán desplegarse a corto o mediano plazo (Stamford y Azapagic, 2014).

- La situación actual de la energía

Los impactos ambientales de las acciones antropogénicas se están volviendo más notables; cada vez están más comprometidas la calidad del agua y del aire, las plagas y enfermedades traspasan sus barreras históricas y la deforestación incrementa las inundaciones y la pérdida de biodiversidad (Ceccato *et al.*, 2014).

La provisión descentralizada es vista como una prometedora solución al cambio climático y la dependencia de fuentes no renovables (Rinkinen, 2013).

Las ciudades inteligentes, con bajo consumo energético, gran aporte de energías renovables y un eficiente manejo energético son cruciales para alcanzar la ambiciosa meta de la protección del clima (Eicker y Klein, 2014).

Eficiencia Energética

Junto con el desarrollo de la sociedad, más y más personas creen que la conservación de la energía no es sólo reducir el consumo de esta, sino también mejorar su eficiencia, lo que significa usarla cuando se necesita y reducir su uso cuando se pueda (An *et al.*, 2014)

Las principales áreas de interés para la aplicación de las medidas para su conservación incluyen el sector industrial/manufacturero, los edificios de oficinas y habitacionales, el transporte y la generación de esta misma. Las inversiones en eficiencia energética pueden proveer un valor económico agregado al preservar el recurso base mitigando los problemas ambientales (Olayinka, 2012).

La ventaja obvia al lograr tal reducción es que la demanda restante puede ser suplida por fuentes renovables como el viento, el sol, la geotermia o la biomasa (Floodberg *et al.*, 2012). La combinación de distintas fuentes renovable, puede incrementar la seguridad del suministro (Palmas *et al.*, 2012).

- Eficiencia Energética en el hogar

A pesar de que la mayoría de los países europeos han incrementado significativamente su porción de energías renovables en la electricidad y un poco en el sector de la calefacción, la demanda de la misma no ha disminuido significativamente (Eicker y Klein, 2014). El requerimiento energético de cualquier

residencia puede ser estudiado considerando la demanda total de agua caliente, calentamiento de los espacios y electricidad para iluminación y operación de distintos aparatos (Hessami, 2008). El día está dividido en periodos de precios altos y bajos, también llamados “de pico” y “de no pico”. El costo por los periodos de uso es muy predecible, los periodos de precios altos y bajos no cambian y los precios durante esos periodos se conocen de antemano (McKenna y Thompson, 2014).

- El papel del gobierno en la eficiencia energética

El desarrollo e implementación de sistemas de energía inteligente a nivel regional requiere la cooperación y coordinación de un gran número de actores económicos, sociales, políticos y administrativos (Maier y Gemenetzi, 2014). Es de inminente importancia mirar a los actores y sus recursos, su posición dentro del campo de investigación para evaluar sus acciones y su potencial contribución para la transformación de los sistemas eléctricos hacia una mayor sustentabilidad (Fuchs y Hinderer, 2014).

En años recientes, las discusiones sobre la política energética se han enfocado en incrementar la eficiencia de su uso para el transporte, la refrigeración, la cocina y el acondicionamiento de edificios. Este enfoque en la eficiencia está motivado por un deseo de reducir las emisiones de CO₂ y otros contaminantes, incrementar la seguridad del suministro energético y reducir la necesidad de nueva infraestructura para el suministro de la misma, así como de plantas y líneas de transmisión. A falta de una política nacional para prevenir las emisiones de CO₂ en la mayoría de los países, la promoción de tecnologías de cero o baja emisión mediante una mezcla de estándares e incentivos se ha convertido en el principal mecanismo de la política para solucionar las preocupaciones sobre el cambio climático global. Tecnologías más eficientes son, en ocasiones, un importante componente del portafolio de tecnologías limpias (Gillingham y Palmer, 2014).

Existen muchos argumentos que apoyan la idea de enfocarse en los gobiernos locales. Primero, de todos los niveles de gobierno, es el que tiene mayor contacto con los ciudadanos y las empresas, lo que le permite actuar como un ejemplo y

facilitar la acción local. Segundo, existe un gran potencial de transformación, ya que muchas decisiones locales afectan directamente al ambiente, como las regulaciones locales del transporte, la construcción, el diseño de paisaje y los asuntos económicos. Las acciones para mitigar el cambio climático pueden ser fácilmente alineadas a políticas gubernamentales enfocadas en la eficiencia energética, las energías alternativas y la transición energética (Hoppe *et al.*, 2014).

Tecnologías Verdes

Normalmente, las áreas urbanas experimentan temperaturas más elevadas que las comunidades rurales que las rodean. Hay muchas causas para la elevación de la temperatura en las zonas urbanas, como el calor antropogénico, el exceso en la acumulación de calor por los materiales de construcción, reducción de la pérdida de radiación de onda corta, falta de vegetación y una evapotranspiración reducida y una disminución de la velocidad del viento, que deriva en una menor disipación de calor hacia a la atmósfera por medio de la convección (Magli *et al.*, 2014).

Por lo tanto, desarrollar alternativas energéticas efectivas para edificios, principalmente para usar en electricidad, calefacción, refrigeración y agua caliente, es importante. Una forma de reducir la dependencia de combustibles fósiles es usando sistemas de energía alternativa que generalmente son amigables con el ambiente. Existen muchas discusiones acerca de las ventajas y desventajas del uso de sistemas de energías alternativas para lograr edificios de cero o casi cero consumo energético (Kalogirou, 2013).

- **Técnicas pasivas de enfriamiento**

En el pasado, el aire acondicionado se utilizaba solamente en climas cálidos, pero a medida que se extiende su uso, se ve también en climas templados debido al incremento de la calidad del aire y el aislamiento de los edificios. Los sistemas de aire acondicionado consumen una gran cantidad de energía (El-Agouz y Kabeel, 2014).

El método más eficiente para ahorrar energía y enfriar los edificios en verano es prevenir que se calienten en primer lugar (Arif, 2010), sin embargo con la concentración de las actividades humanas en las áreas urbanas surge un nuevo

problema ambiental, “la isla de calor urbana”. Una isla de calor urbana es un fenómeno climático en el que las áreas urbanas tienen una temperatura del aire más elevada que las áreas rurales que las rodean debido al calor residual que generan las actividades humanas (Shahmohamadi *et al.*, 2010). Diversas estrategias encaminadas a reducir la isla de calor urbana han sido propuestas en la literatura, como el uso de techos verdes y techos frescos. Mientras ambos métodos reducen la transmisión de calor al edificio, los mecanismos que les permite reducir la isla de calor urbana son diferentes. Un techo verde aumenta la evapotranspiración en las áreas urbanas a través del suelo y las plantas en los tejados, mientras que un techo fresco incrementa la reflexión de la radiación solar en las áreas urbanas al incrementar el efecto albedo de los tejados (Li *et al.*, 2014).

Incrementar la cobertura de los bosques urbanos y la captación de energía solar ayudará a las ciudades a reducir la isla de calor urbana y ser más flexibles con respecto al consumo energético (Staley, 2015).

- Aislamiento

Como un elemento indispensable en la construcción de la envoltura de edificios, los sistemas de acristalamiento podrían reunir los requerimientos como la luz, ventilación, vista y estética. De cualquier forma, el poco aislamiento térmico de los sistemas de acristalamiento comunes conlleva a grandes cantidades de energía para enfriar o calentar (Wang *et al.*, 2014).

En verano, el área expuesta de un techo puede llegar a alcanzar los 80°C y el calor acumulado en el techo durante el día continua entrando al edificio durante la noche (Castleton *et al.*, 2010), por ello existe la necesidad del futuro desarrollo de recubrimientos blancos baratos y amigables con el ambiente que permitan el paso del aire y una resistencia a la acumulación de polvo (Santamouris *et al.*, 2008).

- Techos verdes

Los techos con vegetación, conocidos como techos verdes, eco-techos o techos vivos, se han convertido en una popular alternativa para la impermeabilización de los techos (Carson *et al.*, 2013). Las tecnologías de techos verdes aparecen como

una manera natural y sustentable de ayudar a los centros urbanos a responder al cambio climático y mejorar la calidad ambiental urbana (Kamarulzaman *et al.*, 2014).

Un techo verde es un techo cubierto con vegetación. Los techos verdes son una técnica de enfriamiento pasivo que detiene la radiación solar antes de llegar a la estructura. Los techos verdes se dividen en dos categorías: intensiva y extensiva. Los techos verdes intensivos tienen un sustrato profundo que permite el uso de árboles y arbustos. Algunos parques son techos verdes. Los techos verdes extensivos tienen un sustrato delgado y requieren un mantenimiento mínimo y en general no requieren de riego. Son en general menos costosos al instalar (Pandey *et al.*, 2013), sin embargo, algunos otros beneficios como la retención y retraso del agua de lluvia, el control de la temperatura y los efectos en el espacio agrícola también se verán reducidos (Bianchini y Hewage, 2012a).

Algunas ventajas que nos aportan los techos verdes se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Beneficios que brindan los techos verdes (de Rhodes-Valbuena, 2012).

Regulación Térmica
Disminución efecto isla de calor
Retención y regulación del agua
Producción de oxígeno, captación de carbono y mejora calidad de aire
Aumenta la Biodiversidad
Regulación de la humedad
Aislamiento acústico
Conectividad biológica y ecológica (como corredores biológicos)
Crean hábitats
Aportes al ciclo del agua
Manejo de aguas de lluvias
Disminución de los costos de impermeabilización
Acreditación LEED (<i>Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental</i>)
Incremento del valor comercial del inmueble
Reconstituyen el paisaje natural
Extienden la vida útil de una cubierta de concreto

impermeabilizada
Crean espacios de recreación
Aprovechamiento del espacio marginal (espacio muerto)
Su uso puede extenderse a cualquier edificio público, privado, colegios, conjuntos residenciales y zonas críticas de la ciudad
Beneficios físicos y psicológicos
Responsabilidad ambiental

Un techo verde es un sistema de capas que comprende una membrana impermeable, el sustrato y la vegetación misma. Los techos verdes a menudo incluyen también una barrera de raíces, una capa de drenaje y, cuando el clima lo demande, un sistema de riego (Pandey *et al.*, 2013). La evaluación del desempeño hídrico de los techos verdes está poco estudiada (Thuring y Dunnett, 2014).



Figura 1. Componentes de un techo verde (de Rhodes-Valbuena, 2012).

Actualmente no existen estándares nacionales para los techos verdes y, como resultado, los materiales, la configuración y los métodos de instalación para los techos verdes pueden variar ampliamente de lugar a lugar (Carson *et al.*, 2013).

Los expertos en techos verdes justifican la necesidad de introducir materiales como el plástico en el mercado porque puede reducir el peso total y mejorar el rendimiento en cuestión de las capas impermeables sin comprometer los beneficios de los techos verdes. Las capas y materiales de los techos verdes son similares entre los fabricantes; sin embargo, cada fabricante ha desarrollado su

propio sistema. Información general acerca de los sistemas de los techos verdes está disponible; sin embargo, el contenido específico de las sustancias, procesos productivos y de instalación y la información técnica de ingeniería se mantienen como secretos de marca en la mayoría de los casos (Bianchini y Hewage, 2012b).

Con el crecimiento del mercado de techo verde en el sur de EU, es importante entender cuáles especies de plantas son viables en techos verdes en los climas secos con y sin riego (Dvorak y Volder, 2012). Adicionalmente, ya que muchos techos verdes tienen capas medias de crecimiento delgadas, la estabilidad temporal de la cobertura vegetal en un hábitat tan propenso a sequías es por sí mismo un servicio importante que también puede ser promovido por una mayor biodiversidad (Lundholm *et al.*, 2010).

A pesar de que existen muchos trabajos que tratan sobre el impacto de los techos verdes en el desempeño energético, diversos aspectos siguen aún incomprendidos. La cuantificación del impacto de los techos verdes sobre la temperatura interior aún no ha sido examinada con modelos detallados (Jaffal *et al.*, 2012).

- Ventilación Natural

La ventilación natural es la más importante técnica de enfriamiento pasivo. En general, la ventilación de interiores también es necesaria para mantener niveles adecuados de oxígeno y calidad del aire. El diseño efectivo de un edificio ventilado naturalmente requiere una buena comprensión de los patrones de movimiento del aire a su alrededor y del efecto de los edificios vecinos (Geetha y Velraj, 2012).

- Sombreado

La técnica pasiva de enfriamiento más importante, sin importar la masa, es el sombreado. El sombreado es como ponerle un sombrero a los edificios. El sombreado es un método simple para bloquear el sol antes de que llegue al edificio. El sombreado minimiza la incidencia de los rayos solares y enfría los edificios efectivamente. El sombreado puede reducir el pico de carga de enfriamiento en los edificios, reduciendo así el tamaño de los equipos de aire

acondicionado requeridos que funcionarán por menos horas y consumirán menos energía. El ahorro energético puede variar entre un 10 y un 40 % (Arif, 2010).

- Tecnología solar

Algunas otras aplicaciones de la energía solar que están siendo estudiadas actualmente son las de enfriamiento y refrigeración de edificios. Se lleva a cabo mucha investigación en este campo especialmente en países donde existe gran disponibilidad de la energía solar, como en India. La energía solar es abundante en los meses de verano, donde no se requiere calefacción pero si refrigeración. La refrigeración solar tiene la ventaja de que tanto el suministro de luz solar como la demanda de refrigeración alcanzan su máximo en la misma estación. Como resultado, la refrigeración solar es la particularmente atractiva aplicación de la energía solar (Mittal *et al.*, 2005).

Si no existe o es muy pequeña la correlación entre el tamaño de los sistemas solares domésticos (SSD) y su desempeño, entonces los SSD pequeños pueden proveer la mayoría de los beneficios de los SSD de gran tamaño. Si es al contrario, entonces cuando existen necesidades grandes, es necesario contemplar sistemas más grandes (Bond *et al.*, 2012).

Mientras tanto, se ha prestado poca atención a las pérdidas energéticas que ocurren diariamente simplemente por el uso del equipo (Azimoh *et al.*, 2014).

- Paneles solares

Por décadas, se le ha prestado mucha atención a la investigación de las celdas solares (Asgar *et al.*, 2014). En consecuencia, los paneles fotovoltaicos han disminuido su costo un 90% en los últimos 5 años; por lo tanto, los sistemas térmicos solares son actualmente una alternativa económica a los sistemas de calefacción convencionales en muchos países (Pagliaro, 2014), además una política de producción neta permitirá a los usuarios utilizar la electricidad producida por las celdas fotovoltaicas mientras que esta sea demandada en el hogar, mientras que la electricidad que no sea utilizada será alimentada a la red. La electricidad alimentada representa un crédito para el usuario que podrá ser utilizado en el próximo periodo de facturación (Garzón y Sanchez, 2014).

Al mismo tiempo, el sistema tiene un alto costo inicial. Pero por el otro lado, tiene ciertas ventajas, como por ejemplo poco mantenimiento y un bajo costo de operación, y no tiene efectos negativos en el ambiente. Otra cualidad importante de la energía solar es su capacidad para abastecer a las localidades rurales donde la energía convencional no es viable (Mittal *et al.*, 2005).

- Colector Solar

El colector solar calienta el agua en los tubos del plato colector que sube por la pipa hacia el tanque de almacenamiento. El agua fría, que es más densa, baja por la pipa hacia los tubos. Esta recirculación natural del agua ocurre a lo largo del día mientras se absorba calor en el colector solar. Como resultado, la temperatura del agua almacenada en el tanque colector aislado se incrementa. El desempeño del sistema depende principalmente de su diseño, la inclinación del colector solar y factores ambientales como la intensidad de la radiación solar, la temperatura del ambiente y las condiciones del viento (Ong, 2011).

- Lámparas LED

Las lámparas LED, han presentado una nueva forma de iluminación eléctrica que traspasado las antiguas barreras en lo referente a eficiencia y confiabilidad y se han convertido en la solución óptima para los sistemas solares domésticos considerando su “costo-efectividad”. Además, este tipo de dispositivos está construido sin elementos peligrosos como el mercurio o el plomo, ésta, es una de las principales características de las instalaciones de tecnología LED para iluminación (Gago *et al.*, 2015).

Edificios Sustentables

Los edificios sustentables deben satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las necesidades de los futuros usuarios en las cuestiones energéticas y de confort térmico. Al minimizar la futura necesidad de ahorrar energía, se asegura el futuro incorporando durabilidad a las tecnologías. Los edificios capaces de responder a futuros cambios, evitarán complejas y costosas modificaciones (Georgiadou *et al.*, 2013). La simulación del rendimiento de las

construcciones en la etapa de diseño ayudará a los diseñadores a pensar en la factibilidad de edificios que buscan la alta eficiencia energética (Jin *et al.*, 2014).

La selección de los materiales de construcción para mejorar el desempeño ambiental podría llevar a la reducción de los impactos negativos de las construcciones (Estokova y Porhincak, 2015).

A pesar de que el actual desempeño de los edificios verdes es variado, la construcción de los mismos, la capacidad de construcción y las tendencias futuras en la construcción han traído una gran oportunidad (Wang *et al.*, 2013).

EJEMPLOS DE TECHOS VERDES

En un estudio en India (Pandey *et al.*, 2013), se encontró que a través de la implementación de un techo verde se logra la reducción de la temperatura ambiente de un cuarto. En este estudio la temperatura interior de la habitación con techo verde se redujo cuatro grados con respecto a la habitación idéntica con techo convencional, observando también una diferencia de siete grados con respecto a la temperatura exterior

Tabla 2. Comparación de temperaturas en distintos cuartos (Pandey *et al.*, 2013).

Tiempo	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura del cuarto con techo de concreto reforzado (°C)	Temperatura del cuarto con techo verde (°C)
8.00 am	24.4	21.28	17.88
9.00 am	30.2	27.08	23.27
10.00 am	31.6	28.48	25.28
11.00 am	33.7	30.58	26.48
12.00 pm	35.2	32.08	27.98
1.00 pm	38.3	35.18	31.08
2.00 pm	40.9	37.78	33.68
3.00 pm	40.6	37.48	33.38
4.00 pm	36.1	32.98	28.88
5.00 pm	34.2	31.08	26.98
6.00 pm	31.8	28.68	24.58
Promedio	34.2727	29.0527	27.2245

El Consejo de Investigación Nacional de Canadá (NRC) en colaboración con miembros de la industria de techados de América del Norte proporcionaron como experimentación el techo de un edificio del NRC de aproximadamente 72m² ubicado en la ciudad de Ottawa (Liu y Baskaran, 2003). Dicho techo fue dividido en 2 áreas iguales; un lado se dejó el techo convencional y el otro lado se plantaron flores silvestres durante el primer año de estudio (2001) y en el segundo año (2002), fue plantado césped común Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*). La medición del flujo de calor mostró que la demanda de energía diaria promedio debido al flujo de calor a través del techo verde fue significativamente menor que la de la cubierta de referencia en la primavera y el verano. El techo verde fue más eficaz en la reducción de la ganancia de calor en primavera / verano que la pérdida de calor en otoño / invierno. Esto es debido a que el techo verde puede reducir la ganancia de calor a través de sombreado, el aislamiento, la evapotranspiración y la masa térmica.

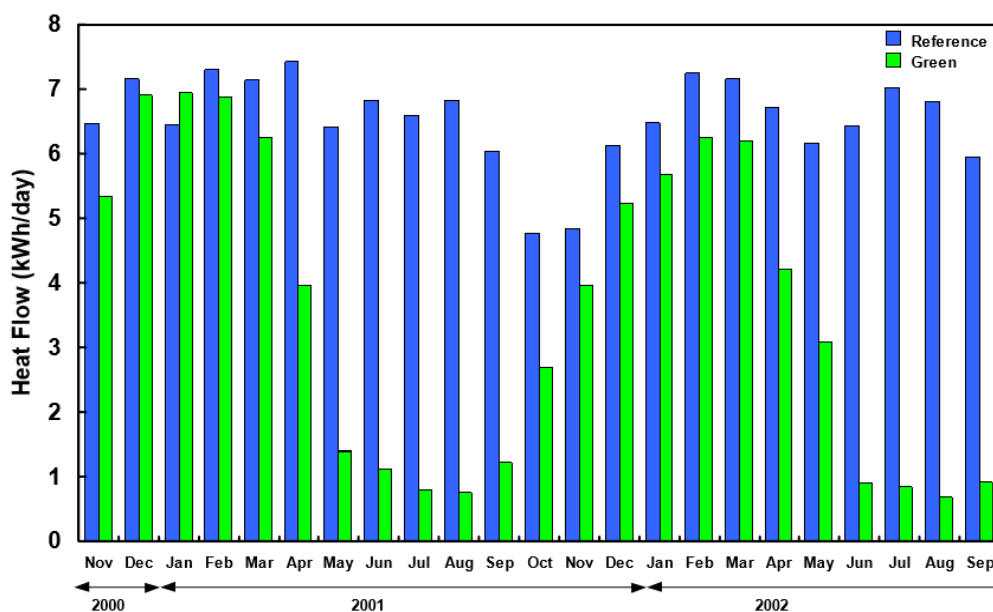


Grafico 1. Promedio diario del flujo de calor a través de los sistemas de techos (Liu y Baskaran, 2003).

Un estudio realizado en el municipio de Honda, Colombia (de Rhodes-Valbuena, 2012), que cuenta con una precipitación promedio anual de 1770.9 mm, una temperatura promedio de 27°C y su clima es regularmente cálido.

El sustrato que se escogió fue humus y cascarilla de arroz, en una proporción de 1:2 respectivamente. La planta que se utilizó al inicio fue solamente maní forrajero (*Arachis pintoi*), con el paso del tiempo, debido al verano que produce el “fenómeno del niño” y que afecta a esta región, las plantas no toleraron estas condiciones extremas del techo y se secaron. Ante esta situación, se tuvo que hacer dos resiembras una en agosto y otra en septiembre del 2012, y se combinó otras especies de plantas: Bugambilia o Veranera (*Bougainvillea glabra*), cintas (*Chlorophytum comosum* “Variegata”), Badea (*Passiflora quadrangularis*) y Melón (*Cucumis melo*). Esta nueva siembra se protegió de las condiciones extremas cubriéndolas temporalmente con una polisombra, que se quitó a la hora de tomar datos.

El estudio se llevo a cabo con un techo verde indirecto con el cual se escogió como material el Bambú Americano (*Guadua, spp.*) por ser resistente, de bajo costo, aislante, biodegradable, liviano, de fácil consecución, muy usado en la zona y adaptable a las hendiduras de la teja.

Se tomaron los datos de la casa en dos zonas: en donde estaba el techo verde (la sala) y en donde no estaba (un cuarto). El área del modelo del techo verde fue de 8 m² en relación con el área total de la casa 70 m²; abarco un 11% del área de la casa. Se tomaron datos por un periodo de 12 días a las: 6:00 am, 9:00 am, 12:00 pm, 3:00 am, 6:00 pm y 9:00pm. En las horas de la mañana se registraron temperaturas bajas, al medio día alcanzaron valores más altos, y por la noche disminuyeron en comparación con las del medio día. Promediando las temperaturas ambientales en todas las horas de muestreo, se encontró que el escenario con techo verde tuvo la temperatura promedio más baja, 32.85°C y la temperatura promedio sin techo verde fue de 33.42 °C. Hubo una diferencia de 0.57°C

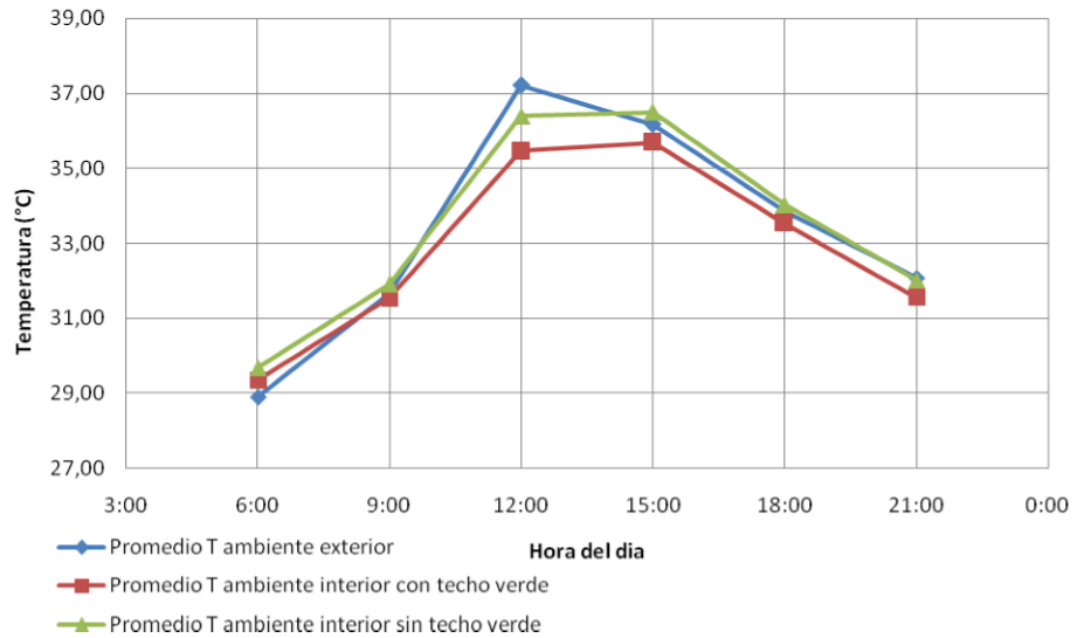


Grafico 2. Temperaturas ambientales a las horas del registro en los tres escenarios: exterior, interior de la casa con techo verde y sin techo verde (de Rhodes-Valbuena, 2012).

Un estudio llevado a cabo en La Rochelle, Francia (Jaffal *et al.*, 2012), en un casa de 96 m², con un clima templado, en donde se uso como sustrato una mezcla de un 40% de material orgánico y un 60% de material volcánico, en los periodos de invierno y verano y después repetido en un clima cálido mediterráneo (Atenas, Grecia) y en un clima frio (Estocolmo, Suecia).

El impacto de los techos verdes sobre la temperatura interior es más significativo en climas cálidos. La temperatura media interior se redujo 2.6, 2.0 y 1.4°C en Atenas, La Rochelle y Estocolmo, respectivamente.

En las 3 ciudades, el techo verde no demostró un cambio significativo en la demanda energética para la calefacción, sin embargo, en los climas cálidos si hubo una reducción notable en la demanda energética para la refrigeración.

Tabla 3. Temperatura media y máxima al interior y demanda energética total para calefacción y para refrigeración en Atenas, La Rochelle y Estocolmo (Jaffal *et al.*, 2012).

Ciudad	Temperatura interior media (°C)		Temperatura interior máxima (°C)		Demanda de la calefacción (kWh/m ² /año)		Demanda de la refrigeración (kWh/m ² /año)		Demanda total de energía (kWh/m ² /año)	
	Techo convencional	Techo verde	Techo convencional	Techo verde	Techo convencional	Techo verde	Techo convencional	Techo verde	Techo convencional	Techo verde
Atenas	33,9	31,3	35,4	32,7	14,1	15,2	26,4	12,5	40,5	27,7
La Rochelle	28,4	26,4	30,1	28	36	36,1	2,5	0,1	38,5	36,2
Estocolmo	25,6	24,2	27,2	25,8	131	120,3	0	0	131	120,3

CONCLUSIÓN

La aplicación de las tecnologías verdes puede ser factible desde cualquier punto de vista porque es una manera de contribuir al desarrollo sustentable y reducir las causas que provocan el cambio climático disminuyendo el consumo desmesurado de energía y la utilización de químicos que tarde o temprano van a parar al ambiente.

La implementación de los techos verdes en zonas donde los climas son cálidos, son más eficientes porque, es aquí donde se logra apreciar el cambio de la temperatura exterior e interior; el uso de techos verdes ayuda a disminuirla, pero su grado de atenuación depende del área cubierta, de las plantas, del sustrato, los materiales y el tipo de techo verde que se implemente.

El uso de esta técnica en climas fríos no marco una diferencia considerable en el consumo energético debido a que, como son temperaturas muy bajas, es necesario el uso de la calefacción.

Un techo verde en conjunto con paredes verdes ayudaría a mantener una temperatura aun más baja en comparación a la del exterior porque se estaría cubriendo otra zona donde la radiación y el calor tienen sus efectos con respecto al flujo de calor.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios durante los meses más calientes del año (mayo-julio) podría permitirnos evaluar con mayor eficacia los techos verdes.

Indagar sobre la utilización de especies nativas que se adapten a un techo verde, para fomentar e incentivar el cultivo de las mismas.

En zonas donde el agua es escasa es importante hacer o tener canales y almacenamiento para recoger el agua de lluvia.

Estudiar más acerca de las paredes verdes para poder unirla con los techos y poder demostrar que ésta nos ayuda aun más con la temperatura de la casa o edificio.

LITERATURA CITADA

- Alrashed, F. y M. Asif 2015. "Analysis of critical climate related factors for the application of zero-energy homes in Saudi Arabia " *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 1395-1403.
- An, Q., H. An, L. Wang y X. Huang 2014. "Efficiency of household energy utilization in rural China." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 9: 135-143.
- Arif, M. 2010. "A study of shading of buildings as a preventive measure for passive cooling and energy conservation in buildings." *International Journal of Civil & Environmental Engineering* 10: 19-22.
- Asgar, M., M. Hasan, M. Huq y Z. Mahmood 2014. "Broadband opticalabsorption measurement of silicon nanowires for photovoltaic cell applications." *International Nano Letters* 4: 3-8.
- Azimoh, C., F. Wallin, P. Klintonberg y B. Karlsson 2014. "An assessment of unforeseen losses resulting from innappropriate use of solar home systems in South Africa." *Applied Energy* 136: 336-346.
- Bianchini, F. y K. Hewage 2012a. "Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: A life cycle approach." *Building and Environment* 58: 152-162.
- Bianchini, F. y K. Hewage 2012b. "How "green" are green roofs? Life cycle analysis of green roofs materials." *Building and Environment* 48: 57-65.
- Bond, M., R. Fuller y L. Aye 2012. "Sizing solar home systems for optimal development impact." *Energy Policy* 42: 699-709.
- Bongards, M., D. Gaida, O. Trauer y C. Wolf 2014. "Intelligent automation and IT for the optimization of renewable energy and wastewater treatment processes." *Energy, Sustainability and Society* 4: 16.
- Bozkurt, I., M. Karakilcik y I. Dincer 2012. "Energy efficiency assessment of integrated and nonintegrated solar ponds." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 9: 45-51.
- Calderón, A., L. Narvarte, L. Carrasco y J. Serón 2015. "LED bulbs technical specification and testing procedure for solar home systems " *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 506-520.
- Carson, T., M. D., P. Culligan y W. McGillis 2013. "Hydrological performance of extensive green roofs in New York City: observations and multi-year modeling of three full-scale systems." *Environmental Research Letters* 8: 13.
- Castleton, H., V. Stovin, S. Beck y J. Davison 2010. "Green roofs; building energy savings and the potentialfor retrofit." *Energy and Buildings* 42: 1582-1591.
- Ceccato, P., K. Fernandes, D. Ruiz y E. Allis 2014. "Climate and environmental monitoring for decision making." *Earth Perspectives* 1: 16-38.
- de Rhodes-Valbuena, M. 2012. Implementación de un modelo de techo verde y su beneficio térmico en un hogar de Honda, Tolima (Colombia). Bogotá, D.C., Pontificia Universidad Javeriana
- Djedjig, R., E. Bozonnet y R. Belarbi 2013. "Experimental study of the urban microclimate mitigation potential of green roofs and green walls in street canyons." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 00: 1-11.

- Dvorak, B. y A. Volder 2012. "Plant establishment on unirrigated green roof modules in a subtropical climate " *AoB Plants*.
- Eicker, U. y M. Klein 2014. "Large-scale renewable energy integration within energy-efficient urban areas: results from three German case studies." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 9: 202-213.
- El-Agouz, S. y A. Kabeel 2014. "Performance of dissicant air conditioning system with geothermal energy under different climatic conditions." *Energy Conversion and Management* 88: 464-475.
- Estokova, A. y M. Porhincak 2015. "Environmental analysis of two building material alternatives in structures with the aim of sustainable construction." *Clean Technology Environmental Policy* 17: 75-83.
- Floodberg, K., A. Blomsterberg y M.-C. Dubois 2012. "Low-energy office buildings using existing technology: simulations with low internal heat gains." *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 3: 19-28.
- Fuchs, G. y N. Hinderer 2014. "Situative governance and energy transitions in a spatial context: case studies from Germany." *Energy, Sustainability and Society* 4: 16.
- Gago, A., F. Navarte, L. Carrasco y J. Serón 2015. "LED bulbs technical specification and testing procedure for solar home systems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 506-520.
- Garzón, M. y C. Sanchez 2014. "Spanish photovoltaic learning curve." *International Journal of Low Carbon Technologies* 0: 1-17.
- Geetha, N. y R. Velraj 2012. "Passive cooling methods for energy efficient buildings with and without thermal energy storage – A review " *Energy Education Science and Technology* 29: 913-946.
- Georgiadou, M., T. Hacking y P. Guthrie 2013. "Future-proofed energy design for dwellings: Case studies from England and application to the Code for Sustainable Homes." *Building Services Engineering Research and Technology* 34: 9-22.
- Gillingham, K. y K. Palmer 2014. "Bridging the Energy Efficiency Gap: Policy Insights from Economic Theory and Empirical Evidence " *Review of Environmental Economics and Policy* 8: 18-38.
- Hessami, M. 2008. "Designing a hybrid wind and solar energy supply system for a rural residential building." *International Journal of Low Carbon Technologies* 1: 112-126.
- Hoppe, T., M. van der Berg y F. Coenen 2014. "Reflections in the uptake of climate change policies by local governments: facing the challenges of mitigation and adaptation." *Energy, Sustainability and Society* 4: 8-32.
- Jaffal, I., S. Ouldboukhitine y R. Belarbi 2012. "A comprehensive studyof the impacto of green roofs on building energy performance." *Renewable Energy* 43: 157-164.
- Jin, Y., L. Wang, Y. Xiong, H. Cai, Y. Li y W. Zhang 2014. "Feasibility studies on net zero energy building for climate considering: A case of "All Green House" for Datong, Shanxi, China." *Energy and Buildings* 85: 155-164.

- Kalogirou, S. 2013. "Building integration of solar renewable energy systems towards zero or nearly zero energy buildings." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 0: 1-7.
- Kamarulzaman, N., S. Zubaidah, H. Hashim y A. Abdullah 2014. "Green roof concepts as a passive cooling approach in tropical climate - an Overview." *Web of conferences* 3: 1028-1035.
- Li, D., E. Bou-Zeid y M. Oppenheimer 2014. "The effectiveness of cool and green roofs as urban heat island mitigation strategies." *Environmental Research Letters* 9: 16.
- Liu, K. y B. Baskaran 2003. "Thermal performance of green roofs through field evaluation." *Institute for Research in Construcción* 0: 1-10.
- Lundholm, J., J. Maclover, Z. MacDougall y M. Ranalli 2010. "Plant Species and Funtional Group Combinations Affect Green Roof Ecosystem Functions." *Public Library of Science* 5: 1-11.
- Magli, S., C. Lodi, L. Lombroso, A. Muscio y S. Teggi 2014. "Analysis of the urban heat island effects on building energy consumption." *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 6: 91-99.
- Maier, S. y A. Gemenetzi 2014. "Optimal renewable energy systems for industries in rural regions." *Energy, Sustainability and Society* 4: 12.
- McKenna, E. y M. Thompson 2014. "Demand response bahaviour of domestic consumers with photovoltaic system in the UK: an exploratory analysis of an internet discussion forum." *Sustainability and Society* 4: 13-25.
- Mittal, V., K. Kasana y N. Thakur 2005. "The study of solar absorption air-conditioning systems." *Journal of Energy in Southern Africa* 16.
- Olayinka, S. 2012. "Efficient energy utilization as a tool for sustainable development in Nigeria." *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 3: 11-23.
- Ong, K. 2011. "Experimental comparative performance testing of solar water heaters." *International Journal of Low Carbon Technologies* 6: 270-276.
- Pagliari, M. 2014. "Solar power in Quebec: a unique potential soon to be fulfilled." *Energy Science and Engineering* 2: 86-93.
- Palmas, C., E. Abis, C. von Haaren y A. Lovett 2012. "Renewables in residential development: an integrated GIS-based multicriteria approach for decentralized micro-renewable energy production in new settlement development: a case study of eastern metropolitan area of Cagliari, Sardinia, Italy." *Energy, Sustainability and Society* 2: 10-25.
- Pandey, S., D. Hindoliya y R. Mod 2013. "Experimental investigation on green roofs over buildings." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 8: 37-42.
- Rinkinen, J. 2013. "Electricity blackouts and hybrid systems of provision: users and the reflective practice." *Energy, Sustainability and Society* 3: 25-35.
- Santamouris, M., A. Synnefa, D. Kolokotsa, V. Dimitious y K. Apostolakis 2008. "Passive cooling of the built environment - use of innovative reflective materials to fight heat islands and decrease cooling needs." *International Journal of Low Carbon Technologies* 3: 71-82.

- Schroll, E., J. Lambrinos y D. Sandrock 2011. "An Evaluation of Plant Selections and Irrigation Requirements for Extensive Green Roofs in the Pacific Northwestern United States." *HorTechnology*.
- Shahmohamadi, P., A. Che-Ani, A. Ramly, K. Maulud y M. Mohd-Nor 2010. "Reducing urban heat island effects: A systematic review to achive energy consumption balance." *International Journal of Physical Sciences* 5: 626-636.
- Song, Y., S. Wu y Y. Yan 2013. "Control strategies for indoor environment quality and energy efficiency—a review." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 0: 1-8.
- Staley, D. 2015. "Urban forests and solar power generation: partners in urban heat island mitigation." *International Journal of Low Carbon Technologies* 10: 78-86.
- Stamford, L. y A. Azapagic 2014. "Life cycle sustainability assesment of UK electricity scenarios to 2070." *Energy for Sustainable Development* 23: 194-211.
- Thuring, C., R. Berghage y D. Beattie 2010. "Green Roof Plant Responses to Different Substrate Types and Depths under Various Drought Conditions." *HorTechnology*.
- Thuring, C. y N. Dunnett 2014. "Vegetation composition of old extensive green roofs (from 1980´s Germany)." *Energy, Sustainability and Society* 3: 4-15.
- Ullah, K., R. Saidur, H. Ping, R. Akikur y N. Shuvo 2013. "A review of solar thermal refrigeration and cooling methods." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24: 499-513.
- Wang, H., H. Lin, V. Ng, T. Yang y L. Yu 2013. "Failure of natural ventilation strategy in a sustainable house in China." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 0: 1-13.
- Wang, H., H. Wu, Y. Ding, J. Feng y S. Wang 2014. "Feasibility and optimization of aerogel glazing system for building energy efficiency in different climates." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 0: 1-8.
- Zhai, X., R. Wang, J. Wu, Y. Dai y Q. Ma 2007. "Design and performance of a solar-powered air-conditioning in a green building." *Applied Energy* 85: 297-311.