

Ensayo expositivo argumentativo

Evaluación del desempeño de las barreras de vegetación implementando herramienta de simulación

Recibido: 12-12-2019 Aceptado: 11-06-2020 (Artículo Arbitrado)

Resumen

Ante la creciente problemática del calentamiento global y su consecuente deterioro ambiental se hace necesario proponer la innovación arquitectónica, a través del diseño sostenible, el cual pasa a ser un ejercicio de contribución a la disminución de dicho deterioro. En este documento se mencionan los beneficios de la vegetación y su aporte al mejoramiento de la calidad ambiental de manera general, y se presenta una revisión sobre las características y ventajas de las herramientas utilizadas para la simulación térmica, que permitan evaluar el desempeño de la barrera verde. Estas herramientas permiten evaluar alternativas de diseño y pronosticar el comportamiento térmico de espacios aun no construidos, sin la necesidad de trabajos exhaustivos de campo, resultando como instrumento de planificación urbana y arquitectura sustentable, en pos de la disminución del consumo energético debido a la necesidad de climatización artificial de espacios; considerando que cada acción puede tener consecuencias ambientales.

Abstract

Given the growing problem of global warming and the subsequent environmental deterioration, it is vital to propose architectural innovation through sustainable design which contributes to the reduction of this deterioration. This work highlights the benefits of vegetation and gives an overview of its contribution to the improvement of environmental quality. Furthermore, a review of the characteristics and advantages of the tools used for thermal simulation is undertaken, allowing for an evaluation of the performance of the green wall. These tools facilitate the evaluation of design alternatives and forecasting the thermal behavior of spaces not yet built without the need for exhaustive field work, resulting as an instrument of urban planning and sustainable architecture. This leads to a decrease in energy consumption as there is no longer a need for the artificial air conditioning of spaces, considering that each action can have environmental consequences.

Résumé

Compte tenu des problèmes croissants du réchauffement climatique et de sa dégradation environnementale qui en découle, il est nécessaire de proposer une innovation architecturale, à travers une conception durable, qui devient un exercice contribuant à la réduction de ladite dégradation. Ce document mentionne les avantages de la végétation et sa contribution à l'amélioration de la qualité de l'environnement en général, et présente une revue des caractéristiques et avantages des outils utilisés pour la simulation thermique, qui permettent d'évaluer les performances des barrière verte. Ces outils permettent d'évaluer des alternatives de conception et de prévoir le comportement thermique d'espaces non encore construits, sans nécessiter un travail de terrain exhaustif, aboutissant à un instrument d'urbanisme et d'architecture durable, dans la poursuite de la diminution de la consommation d'énergie due à la nécessité de climatisation artificielle des espaces; considérant que chaque action peut avoir des conséquences environnementales.

Carmiña E. Domínguez Cicorio*
Luis Aarón García Solórzano
Santiago Arceo Díaz

Palabras clave: Cambio climático, confort térmico, ENVI-met, software.
Keywords: Climate change, thermal comfort, ENVI-met, software.
Mots-clés: Changement climatique, confort thermique, ENVI-met, logiciel.

Introducción

La preocupación actual por el medio ambiente es cada vez mayor, siendo a finales del S. XX que surge “el problema del calentamiento global, el cambio climático responsabilizando a la construcción del hábitat el 50 % del problema” (Siancha, 2013). Por otra parte, el informe del Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC), perteneciente al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), presentado en 2007 en París, señala que el cambio climático es irreversible y los seres humanos son los culpables, incidiendo en el aumento del calentamiento global y en el empobrecimiento ecológico.

Instituto Tecnológico de Colima

Correspondencia:
*carmidominguez@gmail.com

México, como señalan Rodríguez-Salinas et al., (2017), siendo un país con una variedad climática muy contrastante, con ecosistemas que abarcan desde el bosque y selva tropical hasta el desierto, enfrenta retos importantes en materia de racionalización del consumo energético destinado a la climatización artificial. Durante primavera y verano, de manera general en el noreste, noroeste, sur, sureste, son frecuentes los días con temperaturas máximas iguales o superiores a 40 °C. CONAGUA (2014).

En respuesta a lo mencionado, Bedoya (2011) señala que cumbres, encuentros, simposios y otros eventos se han realizado; junto con las certificaciones, sellos, categorías y puntajes, que actúan a manera de herramientas, consideradas como normatividades que resultan en mejores proyectos, amigables con el medioambiente. Sin embargo, se hacen necesarias alternativas que respondan a una arquitectura apropiada a las condiciones ambientales de cada sector geográfico, mediante el diseño eficiente; ya que hablar de arquitectura sostenible es hablar de diseño y construcción sostenible. En México, cabe resaltar, en los últimos años se han desarrollado leyes, normas, decretos y tratados, tanto a nivel federal, estatal como municipal; como por ejemplo la NMX-AA-164-SCFI-2013, que especifica los criterios y requerimientos ambientales mínimos de una edificación sustentable; y, a nivel internacional, los estándares a cargo de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) y la Organización Internacional de Estandarización (ISO), de modo a garantizar la confiabilidad y precisión de los resultados.

A su vez, Saiz Alcazar (2016) sostiene que este fenómeno y sus soluciones potenciales han sido extensamente estudiados en las últimas décadas, abordándolo desde diferentes perspectivas que van desde el análisis regional de isla de calor hasta la escala del edificio. En efecto, se cree conveniente considerar la capacidad de evaluar y diseñar en respuesta al cambio climático, donde las intervenciones sean favorables al ser humano, minimizando el consumo energético edilicio y manteniendo los rangos de confort térmico interior y la calidad del aire exterior. La literatura mencionada revela el gran potencial de los sistemas vegetales como herramientas para el diseño pasivo, puesto que no sólo son capaces de mejorar las condiciones climáticas y micro-climáticas en las

ciudades, reduciendo su demanda energética; sino también la necesidad de un mayor análisis en la escala de calle, donde confluyen el clima, las superficies urbanas, los materiales y la vegetación.

“Los arquitectos deben desarrollar el diseño y la edificación para asentamientos humanos y sus sistemas de soporte, en función de apoyar el desarrollo de una cultura global e interdependiente con el medio natural y lograr un futuro sustentable” (UIA, 1993). A partir de lo mencionado, y en palabras de Peña (2015; p.18) “Para hacer Arquitectura sustentable se debe estar en relación con su bioclima y contexto social, por lo cual se hace necesario gestionar el deterioro y no convertir al diseño arquitectónico en un acto (ethos) cercano al delito”.

El presente trabajo es de carácter inicial cuyo objetivo es analizar softwares para la simulación del desempeño térmico de las barreras de vegetación, ya que según búsquedas recientes, las funciones de las mismas para el provecho en el mejoramiento de la calidad de ambiente interior y exterior de las edificaciones son varias, y acorde con Chanampa et al., (2010), la vegetación es capaz de absorber el 80 % de la radiación solar, mientras que mantiene una baja temperatura gracias a la transpiración.

Finalmente, y como menciona Francoise (2012) “Es importante establecer que no se trata específicamente de reducir el consumo energético dentro de las edificaciones, sino de conservar el capital de recursos con los que cuenta el planeta para permitir que las generaciones venideras puedan dar respuesta a sus necesidades”. Por lo citado, se cree primordial adoptar estrategias a corto, mediano y largo plazo, para enfrentar el cambio climático con el desarrollo sostenible; considerándose conveniente resaltar, a continuación, los beneficios que genera el uso de la vegetación.

La vegetación

En las últimas décadas, como señalan Stocco, Cantón y Correa (2018), se ha incrementado la conciencia y el conocimiento sobre la importancia que revisten los espacios verdes, debido a los beneficios que producen. De acuerdo con Nowak et al. (1998), Ochoa de la Torre (1999) y Kurbán et al. (2002), la vegetación contribuye directa e indirectamente en el microclima local y regional mediante la alteración de las condiciones ambientales y atmosféricas, generando además,

otros efectos no climáticos como la contribución a la sensación de bienestar en el espacio público, el control del ruido urbano y la retención de contaminantes atmosféricos (Posada, Arroyave, Fernández, 2013).

Asimismo, en términos arquitectónicos, la planificación y el sistema constructivo de un edificio deben utilizar al máximo las posibilidades naturales para mejorar las condiciones interiores, sin recurrir a la utilización de aparatos mecánicos (Olgay, 1998; 126). Cabe resaltar además, de acuerdo a Sempergreen (2014), la implementación de vegetación es sumamente relevante para atender el problema del confort térmico y la eficiencia energética, ya que la aplicación correcta de la misma puede reducir hasta el 23 % del calor y el 75% del uso de aire acondicionado.

Por otra parte, Alexandri y Jones (2008) expresan que los paneles vegetales repercuten en el balance térmico, actuando como un elemento refrigerante del aire próximo a la superficie vegetal; y “Sombrear las superficies expuestas al sol reduce en gran medida las aportaciones de calor que los elementos constructivos introducen a los espacios habitables; como una alternativa de enfriamiento pasivo” (Olgay, 1963, p. 11).

Según Stocco et al. (2018) el enverdecimiento urbano es una de las principales estrategias de mitigación de la artificialización del medio natural que ayuda a mejorar las condiciones ambientales y de habitabilidad del espacio urbano-edificio. “Entonces si la arquitectura se define como el diseño de relaciones entre el medio ambiente y las personas para garantizar bienestar, seguridad y funcionalidad, la práctica reflexiva de la arquitectura debe garantizar que la ergonomía, la calidad ambiental, la eficiencia energética y el desarrollo de la sociedad humana se presenten explícitamente en los proyectos urbanos y arquitectónicos” (García, González y Salazar, 2006). Ahora bien, cabe hacer mención de los beneficios de las barreras verticales de vegetación para la mejora ambiental.

Las barreras verticales de vegetación

De acuerdo a Haberl y Cho (2004), el efecto y los beneficios de la vegetación en el clima urbano es estudiado desde ya hace un tiempo; y en palabras de Cuce (2017) el uso de sistemas de vegetación vertical, como elementos de bio-climatización, es cada vez más común en la arquitectura moderna. “La aplicación de fachadas verdes es una característica establecida del diseño urbano contemporáneo, y puede

ofrecer múltiples beneficios ambientales tanto en edificios nuevos como en edificios existentes” (Perini, 2013). Además, Campillo (2013) menciona que éstas influyen positivamente en la sostenibilidad de los edificios y en el ahorro energético, pues disminuyen el efecto de calentamiento y mitigan la radiación solar.

A su vez, Sosa y Siem (2004) señalan “Si se encuentran en la fachada de la edificación, las corrientes de aire contribuyen a evacuar por convección el calor almacenado. Al entrar en contacto con la vegetación, el aire mejora su temperatura y refresca el interior de los ambientes ventilados”. Esto, junto con lo mencionado por Bolaños y Moscoso (2011) “Las fachadas con vegetación contribuyen a la regulación de las temperaturas al interior de las edificaciones, así se disminuyen las ganancias de calor en climas cálidos; mitigan el impacto de la radiación del sol, reducen la temperatura de las brisas que ingresan al edificio, y aumentan la humedad relativa del mismo debido a la evapotranspiración de las plantas”.

Así mismo, Engy, Neveen y Nermeen (2018), describen los resultados que demuestran el papel de los elementos del paisaje en la mejora del rendimiento ambiental, la satisfacción térmica para los usuarios, como también la disminución de la temperatura del aire y de la superficie, con la mejora durante las horas del día.

En respuesta a lo mencionado, se busca resaltar los cambios y los beneficios que pueden ser ocasionados con la implementación de la vegetación y el confort que se puede producir con el diseño sustentable; ahora bien, se hace necesario adoptar medidas que permitan evaluar su eficiencia, por la importancia de reducir el consumo energético y de mejorar las condiciones ambientales, por lo tanto se plantea el análisis de herramientas que permitan la simulación, ahorrando tiempo y costos a los profesionales.

Análisis de herramientas de simulación

Para el desarrollo de la revisión de software se estudiaron investigaciones sobre el tema; donde se determina que el mismo debe ser un programa de simulación térmica que pueda incluir vegetación y que pueda ser utilizado en México. La mayoría presenta distintos métodos debido a la particularidad de sus objetivos, por lo tanto es importante considerar los aspectos a evaluar y a partir de esto adaptar la metodología a desarrollar.

Rodríguez-Muñoz, Nájera-Trejo y Martín-Domínguez (2018) expresan que existen diversos estudios donde se utilizan herramientas de simulación para cuantificar la demanda energética y el confort térmico en el interior de edificios. Como menciona Arnfield (2003), el uso de métodos numéricos para el pronóstico del clima urbano posee ventajas sobre mediciones exhaustivas de campo, como la versatilidad en el tratamiento de múltiples variables y procesos atmosféricos, lo que explica la gran difusión de las simulaciones como herramientas de análisis. Hay que mencionar, además que el cálculo de transferencia térmica se remonta a 1920 cuando en Francia Nesi y Nisolle crearon el cálculo de análisis dinámico utilizando el método del factor de respuesta; desde entonces es posible estimar la demanda energética (González, 2012).

Crawley et al. (2008) realizaron un resumen donde se comparan las capacidades de las herramientas y software disponibles durante los últimos 50 años (Rodríguez-Muñoz et al., 2018). Por otra parte, Saiz Alcazar (2016), quien ha realizado una revisión de las herramientas de simulación energética de los modelos de energía a nivel edificio, señala que ningún BES (Building Energy Software) tiene la capacidad para usarlo con los objetivos de este trabajo, que responden a la evaluación térmica de las barreras de vegetación, es decir, incluyendo sistemas vegetales para el mismo (ver tabla 1).

Por otra parte, Rodríguez (2017) menciona que las necesidades energéticas de los edificios no sólo dependen de parámetros propios del mismo, como geometría, calidades constructivas, etc., sino que están fuertemente influenciadas por las condiciones micro-climáticas de su entorno más próximo; y, existen numerosos programas disponibles para la simulación energética de estos, sin embargo, la mayoría de ellos no tienen en cuenta el ambiente exterior en el que se encuentran.

Por lo mencionado, cabe resaltar en adición, para que estas herramientas tengan los resultados esperados, como lo señala Clarke (2012), se requiere elegir una aplicación que se adecue al usuario y al proyecto a realizar, ya que todos presentan ventajas e inconvenientes; además, se deben tener en cuenta programas enfocados al propósito, estableciéndose las condiciones meteorológicas de la región, seleccionando y monitoreando el área a intervenir. A su vez, Givoni (1998; p.3) señala que el análisis de las condiciones térmicas de un lugar dado es el punto de inicio en la formulación de principios del diseño urbano y del edificio con el fin de maximizar el confort y minimizar el uso de energía para calefacción y refrigeración.

ENVI-met

Según las fuentes consultadas, es una herramienta adecuada para pronosticar los cambios micro-climáticos de los entornos urbanos y evaluar el confort térmico de los peatones. Como menciona Spangenberg (2007),

Tabla 2. Herramientas de simulación energética.

Equest	Herramienta de simulación energética dinámica horaria. Factible para realizar evaluaciones de grandes modelos, capturar interacciones críticas entre sistemas en el nivel de construcción de conjunto. No tiene capacidad para realizar modelos en ambientes exteriores ni integrar elementos vegetales en el sistema. Compatibilidad: Windows 8/7 / Vista / XP. Freeware: SI.
Energy Plus	Incluye intervalos de simulación de menos de una hora, aire multizona, simulación de la energía eléctrica como pilas de combustible y otros distribuidos sistemas de energía, uso de agua en sistemas de construcción, precipitación, agua subterránea y uso de agua en edificios. La capacidad de simular ambientes exteriores y vegetación es muy limitada.
Design Builder	Proporciona datos ambientales como el consumo de energía, el confort interno datos y tamaños de componentes HVAC (sistemas de climatización y ventilación, por sus siglas en inglés: Heating, Ventilating and Air Conditioning). Los datos de simulación se pueden sacar de forma anual, mensual, diarias, cada hora o por intervalos. DesingBuilder se puede utilizar con Energy plus para simulaciones más avanzadas, pero el módulo de análisis de fluidos es limitado y no proporciona la capacidad de simular condiciones exteriores ni elementos vegetales. La salida de datos es horaria utilizando el motor de simulación de EnergyPlus.
IES Virtual Environment	Permite probar distintas opciones, identificar mejores soluciones pasivas, comparar tecnologías bajas en carbono y renovables, y sacar conclusiones sobre la energía, las emisiones de CO ₂ y confort de los ocupantes. El programa no tiene la capacidad de modelado en detalle del ambiente exterior ni de incluir sistemas vegetales. El motor de simulación térmica dinámica es Apache y tiene enlaces directos a las importaciones IFC y dxf de SketchUp, Revit o Treligence y gbXML. Los diferentes módulos de IES proporcionan una opción flexible para el análisis de energía, carbón, térmica, solar, luz natural, luz, CFD, flujo de aire, HVAC y tecnologías de bajo carbono/renovables.
ENVI-met	Modelo capaz de simular las interacciones entre diferentes superficies urbanas, vegetación y la atmósfera. Permite analizar los efectos de los cambios a pequeña escala en diseño urbano. Es un modelo de pronóstico basado en las leyes fundamentales de la dinámica de fluidos y termodinámica.

Fuente: Elaboración propia con referencia y resumen realizado a partir de la tesis doctoral de Saiz Alcazar (2016).

ENVI-met es un modelo de microclima numérico, de 4 dimensiones (tres dimensiones espaciales más la dimensión de tiempo), configurándose como una innovadora herramienta para tomar decisiones para planificadores urbanos, paisajistas y arquitectos; especialmente en los países (en desarrollo) con un umbral tropical, porque tales investigaciones se pueden llevar a cabo con costos relativamente bajos. En efecto, el modelo tiene una base física sólida y bien fundamentada y ofrece muchas ventajas en comparación con otros modelos de microclima urbano disponibles (Arnfield, 2003).

El programa fue desarrollado por Michael Bruse (2019) en el Instituto de Geografía de la Universidad de Mainz, Alemania. El mismo, está basado en un modelo capaz de simular las interacciones entre diferentes superficies urbanas, vegetación y la atmósfera (Saiz Alcazar, 2016). Como menciona Alchapar (2016), el uso de esta herramienta está ampliamente validada a nivel internacional (Soo-Gon et al., 2007; Samaali et al., 2007; Acero, 2010; Krüger et al., 2011; Chowa y Brazel, 2012; Perini y Magliocco, 2014; Taleghani et al., 2015; Tanhuanpää et al., 2015), el cual trabaja a escala de microclima urbano y simula las interacciones entre el aire y la superficie del entorno urbano con una resolución típica de 0.5 a 10 metros en el espacio y cada 10 segundos en tiempo. Alchapar y Correa (2016) además mencionan, que el mismo está basado en las leyes fundamentales de la dinámica de fluidos y la termodinámica, e incluye la simulación de: flujos alrededor y entre edificios; procesos de intercambio de calor y vapor de las superficies de suelo y paredes; turbulencia; parámetros de la vegetación; bioclimatología; y dispersión de contaminantes (Bruse, 2019).

Por otra parte, en el trabajo realizado por Stocco et al. (2018), se menciona que el programa ha demostrado ser un modelo solvente en términos de su capacidad para la representación adecuada de los fenómenos que ocurren en diferentes entornos urbanos; tomando como parámetro su grado de ajuste con las mediciones en campo. En el mencionado, se realizaron simulaciones con ENVI-met 3.1, y los resultados muestran que la cobertura de la plaza con arbolado de gran porte al 100% mejora las condiciones de habitabilidad durante el día y presenta las menores temperaturas durante la noche, con diferencias de hasta 3.5°C respecto de la peor configuración (superficie sellada 100%). Actualmente, en correspondencia con

las fuentes consultadas, es uno de los programas más utilizados en la literatura internacional y ha sido empleado en numerosas investigaciones en referencia al diseño urbano sustentable y la planificación de los espacios abiertos, calles, plazas y parques.

A su vez, Alchapar et. al. (2018), en *Parámetros urbanos morfo-materiales y su correlación con las temperaturas de aire en verano*, señalan que en base a los análisis estadísticos, se puede observar que el incremento de la vegetación en todos los escenarios ofrece las mejores posibilidades para optimizar las condiciones térmicas urbanas. Los resultados muestran posibilidades concretas de reducción de consumos de energía, así como promover una mejora de las condiciones térmicas urbanas.

Chatzinikolaou, Chalkias y Dimopoulou (2018), en *Urban Microclimate Improvement Using Envi-met climate model*, demuestran los beneficios de la herramienta para comprobar que la vegetación en la carretera y en techos proporciona potenciales para mitigar los efectos de isla de calor, analizando el confort térmico; demostrando que la selección del tipos de plantas de manera adecuada puede contribuir a mejorar las condiciones térmicas de los peatones.

Así mismo, Santamouris et al. (2017), valoraron el potencial de enfriamiento de diferentes tecnologías de mitigación de 220 áreas urbanas. Sus resultados demostraron que los techos y pavimentos reflectivos y el incremento de la vegetación urbana pueden disminuir las temperaturas de aire en una ciudad y contrarrestar los efectos de las islas de calor en parte o en su totalidad. La caída de temperatura registrada en todas las ciudades es de 2.0 °C promedio (Alchapar et. al., 2018).

En definitiva, el software ENVI-met, según la bibliografía analizada y citada, requiere del ingreso de variables no perturbadas que caracterizan las condiciones de borde de la simulación, tales como: (i) velocidad, dirección de viento (m/s) a 10 m de altura y rugosidad de suelo (z_0) al punto de referencia; (ii) temperatura atmosférica inicial (K) y humedad específica (gr. agua/kg. aire) a 2500 m de altura. Posee además las siguientes ventajas: simula la dinámica micro-climática dentro de un ciclo diario; al ser un modelo dinámico, pronostica todos los procesos de cambio, incluyendo flujos de viento, turbulencia, flujos de radiación, temperatura y humedad; es posible una representación

detallada de estructuras y materialidades urbanas complejas, junto con las propiedades ópticas de materiales; la vegetación es considerada no sólo como un obstáculo poroso al viento y a la radiación solar, sino también mediante la inclusión de los procesos fisiológicos de evapotranspiración y fotosíntesis; incluye la simulación del impacto de la vegetación del microclima local y la dispersión de contaminantes. Asimismo, se pueden seleccionar numerosas tipologías de vegetación con propiedades específicas; el modelo requiere un número limitado de entradas y proporciona un gran número de datos de salida; y, la alta resolución espacial (hasta 0,5 m en sentido horizontal) y temporal (hasta 10 segundos) permitir una detallada lectura de los cambios micro climáticos.

Consideraciones finales

El cambio y el crecimiento de nuestras ciudades son inevitables, por lo tanto debemos prepararnos para ofrecer oportunidades y brindar servicios en pos al desarrollo sustentable, ya que el cambio climático es una realidad, por lo que se hace necesario adoptar medidas que contribuyan al mejoramiento de la calidad ambiental; proponiendo la innovación a través del diseño sostenible, considerando la importancia del uso de la vegetación en la arquitectura.

Es importante señalar el avance tecnológico digital del cual somos testigos, lo cual contribuye de gran manera a través de los nuevos soportes, estilos y facilidades que nos ofrece, junto con la importancia del análisis de sistemas con elementos bioclimáticos; las simulaciones nos permiten resultados enfocados en el comportamiento térmico más eficiente, ahorrándonos tiempo y trabajos de campo exhaustivos; obteniendo una gran cantidad de información que puede conseguirse a partir de la entrada de pocas variables, como del tipo del clima de implantación, cuyos datos son adquiridos de las estaciones meteorológicas.

La implantación de estos modelos se configura como una herramienta que ayuda a los proyectistas a comprender y simular el impacto de sus diseños y construcciones, colaborando en la consecución de mejoras en las condiciones de vida de los habitantes. Además, mediante ésta se comprueba que la eficiencia térmica aumenta con el uso de vegetación, por lo que su aplicación a climas cálidos ayudaría a mejorar el confort térmico y a reducir el uso de acondicionamiento artificial, a favor de la protección del ambiente, los seres humanos y la vegetación.

Bibliografía

- Acero, J. (2010). Influencia de la vegetación en la calidad del aire y el clima urbano. *CONAMA*, 1,1-13.
- Alchapar, N. L.; Pezzuto, C. C.; Correa, E. N. (2018). Parámetros urbanos morfo-materiales y su correlación con las temperaturas de aire en verano. *Ambiente Construido*, 18 (4): 199-213.
- Alchapar, N., Correa, E., (2016). Pautas de Diseño Para Disminuir las Temperaturas Urbanas en Regiones con Alta productividad Solar. Parámetros Morfológicos y Materiales. *Revista Hábitat Sustentable*. 6 (1): 84-95.
- Alexandri, E., Jones, P., (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*. 43(4): 480-493.
- Arnfield, A. (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23 (1), 1-26.
- Bedoya Montoya, C M. (2011). "AADA – Arquitectura de Alto Desempeño Ambiental: más que una certificación o un indicador, una metodología conceptual para Iberoamérica. *Revista Sostenible?* 12: 25-39.
- Bolaños-Silva, T., y Moscoso-Hurtado, A. (2011). Consideraciones y selección de especies vegetales para su implementación en ecoenvolventes arquitectónicos : una herramienta metodológica. *Revista Nudo* 5(10): 5-20.
- Bruse, Michael (2019). ENVI-met. On-Line Manual. Recuperado el 12 de junio de 2020, de <http://www.envi-met.com>.
- Campillo, L. M. M., Torres, D. (2013). Las fachadas verdes como herramienta pasiva de ahorro energético en el bloque administrativo de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería. *DEARQ: Revista de Arquitectura de la Universidad de los Andes* (13): 140-149.
- Chanampa, M., Vidal, P., Alonso, J., Touceda, M.I., Olivieri, F., Guerra, R., Neila, J., Bedoya C., (2010). Tecnologías verdes como instrumentos de rehabilitación arquitectónica. En: Ponencias del Congreso SB10mad, Edificación sostenible, *Revitalización y Rehabilitación de barrios*. Green Building Council España.
- Chatzinikolaou, E., Chalkias, C., Dimopoulou, E. (2018). Urban microclimate improvement using envi-met climate model. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Mid-term Symposium "3D Spatial Information Science – The Engine of Change"*, (pp. 69-75). Delft, The Netherlands.
- Chow W, Brazel, A. (2012). Assessing xeriscaping as a sustainable heat island mitigation approach for a desert city. *Building and Environment*, 47, 170-181.
- Clarke, J. (2012). Energy simulation in building design. (2da ed). *Routledge*, CRC Press.
- Crawley D.B., Hand J.W., Kummert M., Griffith B.T. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*. 43 (4): 661-673.

- CONAGUA (2014). Reporte del clima en México. Reporte anual 2014. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional, Gerencia de Meteorología y Climatología, Subgerencia de Pronóstico a Mediano y Largo Plazo. Recuperado de: <http://smn1.conagua.gob.mx/climatologia/analisis/reportes/Anual2014.pdf>.
- Cuce, E. (2017). Thermal regulation impact of green walls: An experimental and numerical investigation. *Applied Energy*. 194: 247-254.
- Engy H. Saeed, Neveen Y. Azmy, Nermeen A. Omar. (2018). The role of the landscape elements to improve the urban spaces environmental performance. *ACE: architecture, city and environment*. 36: 91-110.
- Francoise-Helene Jourda. (2012). *Pequeño manual del proyecto sostenible*. Barcelona, Gustavo Gili.
- García, A., González, A., Salazar, J., (2006). Labor Cero. *Arquitectura a la medida*. PVG Arquitectos. Medellín: Argos. Colombia.
- Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*. 18 (1): 11-23.
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons.
- González Cáceres, Alex. (2012). *Evaluación de herramientas de simulación energética: estudio del caso de la determinación de la demanda de calefacción en viviendas en concepción*. Tesis de maestría no publicada, Universidad del Bío Bío. Concepción, Chile.
- Haberl, J. S., Cho, S. (2004). Literature Review of Uncertainty of Analysis Methods, (DOE-2 Program), *Technical Report*. Texas Commission on Environmental Quality.
- Krüger E., Minella F., Rasia F. (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 46(3), 621-634.
- Kurbán, A., Papparelli, A., Cúnsulo, M., Montilla, E., Herrera C. (2002). "Aporte de la forestación al control del clima urbano en zona árida". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 6(1): pp. 43-48.
- Nowak, D. J., McHale, P. J., Ibarra, M., Crane, D., Stevens, J. C., Luley, C. J. (1998). "Modeling the effects of urban vegetation on air pollution". In Air pollution modeling and its application XII. Gryning, S.-E.; Chaumerliac, N. (eds.). *Proceedings of the Twenty-Second NATO/CCMS International Technical Meeting*. (pp. 399-406). Plenum Press. New York.
- Ochoa de la Torre, J. M. (1999). *La vegetación como instrumento para el control microclimático*. Tesis doctoral no publicada. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Olgay, V. (1963). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press.
- Olgay, V. (1998) *Arquitectura y Clima: Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas*. Editorial Gustavo Gili, SL.
- Peña Barrera, L. (2015). *Diseño Bioclimático*. Ciudad Juárez Chihuahua, México. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M., Raiteri, R. (2013). Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. *Urban Ecosystems*. 16 (2).
- Perini K., Magliocco A. (2014). Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry and Urban Greening*. 13(3), 495-506.
- Posada, M., Arroyave, M., Fernández, C. (2013). Influencia de la vegetación en los niveles de ruido urbano (influence of vegetation in urban noise levels). *Revista EIA*, 6(12), 79-89.
- Rodríguez, E. (2017). *Caracterización de los mecanismos de transferencia de calor y masa en espacios abiertos para la evaluación del confort térmico y de la influencia en el comportamiento térmico del edificio*. Tesis doctoral no publicada. Universidad de Cádiz, España.
- Rodríguez-Muñoz N.A., Nájera-Trejo M., Martín-Domínguez I.R. (2018). Análisis del desempeño térmico de los sistemas constructivos de un edificio de oficinas mediante simulaciones dinámicas. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 19 (3): 279-289.
- Rodríguez-Salinas, P., Ruiz Morales, M., Franco, A., Pérez-Fernández, A., Lobato-Calleros, O. (2017). Efecto de amortiguamiento térmico de una barrera verde de Arundo donax como elemento de bioclimatización en edificios. *Informes de la Construcción*. 69 (547).
- Samaali M., Courault D., Bruse M., Oliosio A., Occelli R. (2007). Analysis of a 3D boundary layer model at local scale: Validation on soybean surface radiative measurements. *Atmospheric Research*, 85(2), 183-198.
- Saiz Alcazar, S. (2016). *Efecto de las cubiertas ajardinadas sobre el microclima urbano de verano*. Tesis doctoral no publicada. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Santamouris, M., Ding, L., Fiorito, F., Oldfield, P., Osmond, P., Paolini, R., Prasad, D., Synnefa, A. (2017). Passive and active cooling for the outdoor built environment – Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects, *Solar Energy*, (154):14-33.
- Siancha, J. (2013). *Ahorro de energía*. Buenos Aires, Argentina. Librería y Editorial Alsina.
- Sempergreen (2014). Environmental advantages Green roofs, Recuperado el 10 de noviembre de 2019 de <http://www.sempergreen.com/en>.
- Soo-Gon H, Sun-Hye M, Jung-Ho H (2007). Changes of the micro-climate and building cooling load due to the green effect of a restored stream in Seoul, Korea. *Proceedings Building Simulation*, 1131-1138.
- Sosa, M. E., Siem, G (2004) Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico Recuperado el 21 de octubre de 2019 de http://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/pdf/manual_energia.pdf.

- Spangenberg, Jörg. (2007). *Simulación de microclimas urbanos en la metrópoli tropical maracanárío de janeiro -Caso de estudio*. Instituto de Arquitectura Tropical. Fundación Príncipe Claus para la Cultura y el Desarrollo.
- Stocco, S., Cantón, A., Correa, E.(2018). Alternativas de diseño para mejorar el desempeño ambiental de plazas urbanas de Mendoza (Argentina). Evaluación mediante simulación con ENVI-met 3.1. *Informes de la Construcción*, 70(550).
- Taleghani M., Kleerekoper M., Tenpierik M., Dobbelsteen A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, 83, 65–78.
- Tanhuanpää T., Vastaranta M., Kankare V. Holopainen M, Hyyppä J, Hyyppä , Alho P. y Raisio J. (2015). Mapping of urban roadside trees -a case study in the tree register update process in Helsinki City. *Urban Forestry and Urban Greening*.
- UIA. (18 de junio de 1993). *Declaración de Interdependencia para un futuro sustentable*. Recuperado el 13 de junio de 2020, de UIA/AIA Congreso mundial de Arquitectos: <http://www.uiaarchitectes.org/texte/england/2aaf1.html>