

Techos verdes: una estrategia sustentable

Green Roofs: a sustainable strategy

Brenda Guadalupe López-González¹, Alejandro D. Camacho²,
María Concepción Martínez-Rodríguez³, Mariana Marcelino-Aranda⁴

López-González, B; Camacho, A; Martínez-Rodríguez, M; Marcelino-Aranda, M. Techos verdes: una estrategia sustentable. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33-3. Julio-Setiembre 2020. Pág 68-79.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i3.4389>

Fecha de recepción: 17 de julio de 2019

Fecha de aprobación: 8 de noviembre de 2019

- 1 Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas. México.
Correo electrónico: blopezg1502@alumno.ipn.mx.
 <https://orcid.org/0000-0001-8076-3785>
- 2 Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México.
 <https://orcid.org/0000-0003-4791-1912>
- 3 Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. México.
 <https://orcid.org/0000-0003-3094-5411>
- 4 Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas. México. Autor de correspondencia.
Correo electrónico: mmarcelino@ipn.mx.
 <https://orcid.org/0000-0003-4997-0617>



Palabras clave

Techos verdes; urbanización; cambio climático; isla de calor urbana; desarrollo sustentable; antecedentes; beneficios; composición; clasificación.

Resumen

La urbanización ha traído consigo beneficios que han permitido el crecimiento económico y mejoras en la calidad de vida de las personas, pero también ha abonado a la parte ambiental. Los techos verdes son una tecnología que contribuye al desarrollo sustentable. El presente trabajo da a conocer información relevante acerca del origen, características y beneficios de los techos verdes, así como una recopilación de actividades académicas que diferentes organismos están realizando en pro de esta tecnología verde y, finalmente, los casos éxito en México. Se reportan una serie de beneficios ambientales como la disminución de la contaminación y temperatura del ambiente, beneficios sociales como la reducción de enfermedades y porcentajes de mortandad en la población y beneficios económicos como el ahorro por la disminución del consumo de energía.

Keywords

Green roofs; urbanization; climate change; urban heat island; sustainable development; background; benefits; composition; classification.

Abstract

The urbanization of the areas has brought benefits that have allowed economic growth and improvements in the quality of life of people, but has also paid for the environmental part. Green roofs are a technology that contributes to sustainable development. For this reason, the present work discloses relevant information about the origin, characteristics and benefits of green roofs, as well as a compilation of academic activities of different organisms being carried out in favor of this green technology and, finally, successful cases in Mexico. A series of environmental benefits are reported, such as the reduction of pollution and temperature of the environment, social benefits such as the reduction of diseases and mortality percentages in the population and economic benefits such as savings due to the reduction of energy consumption.

Introducción

El crecimiento demográfico acelerado, derivado del incremento en las tasas de fecundidad y esperanza de vida, ha traído consigo como principal resultado la expansión de la urbanización, pues de acuerdo con el Banco Mundial [1] más del 54% de la población a nivel mundial habita en zonas urbanas y se espera que la tendencia de migración de la población a las ciudades aumente principalmente por la demanda de una mejor calidad de vida de las poblaciones [2].

Con la construcción de ciudades se estima que al año se pierden hasta 13 millones de hectáreas de zonas boscosas. Dicha deforestación es una situación alarmante, pues los bosques albergan más del 80% de las especies de flora y fauna, además de que permiten reducir la degradación ambiental, ayudan a la regulación natural del clima y permiten limpiar el aire [3].

Si bien es cierto, la urbanización ha permitido la industrialización, modernización y la mejora en la calidad de vida de las personas, también la disminución de zonas naturales lo cual ha desencadenado el efecto invernadero de manera forzada, pues al no haber la suficiente flora

para la absorción de gases de efecto invernadero, emitidos por la quema de combustibles y uso desmedido de recursos naturales, causa el incremento del calentamiento global que a su vez provoca el cambio climático y la contaminación ambiental [4].

Con el fin de mitigar los problemas ambientales existentes por la actividad del hombre, diversos países han diseñado estrategias y tecnologías que permiten contribuir a la disminución de los efectos negativos causados [5], pues las ciudades construidas alrededor del mundo no están diseñadas para amortiguar los daños que el cambio climático ha provocado [6]. Dentro de estas tecnologías están aquellas aplicadas a la industria de la construcción denominadas techos verdes.

El presente documento muestra una investigación cualitativa basada principalmente en el análisis de artículos y reviews publicados en revistas científicas de alto impacto sobre los techos verdes. La consulta de información se realizó en bases de datos científicas internacionales como Web of Science y Scopus donde se consideraron documentos publicados entre los años 2014 a 2019 e ingresando palabras clave como green roofs, benefits of green roofs, climate change y sustainable development. Asimismo, el análisis de información publicada en notas periodísticas y aquella emitida en informes de dependencias públicas y organizaciones privadas dedicadas a trabajar con los techos verdes.

Antecedentes de los techos verdes

En la literatura el primer antecedente de techos verdes que se tiene son los jardines colocados en los templos de las ciudades de los zigurats de la antigua Mesopotamia en el año 600 a.C. [7]. Otra evidencia representativa del surgimiento de los techos verdes son los Jardines Colgantes de Babilonia mandados a construir por el rey Nabucodonosor en los siglos VII y VIII a.C., mismos que fueron considerados una de las siete maravillas del mundo antiguo [8].

En el siglo XX fue introducido por primera vez de manera formal el concepto arquitectónico de techos verdes en Europa, por el arquitecto y teórico de la arquitectura suiza, nacionalizado francés, Charles Édouard Jeanneret-Grisb, mejor conocido en esa época como Le Corbusier, quien realizaba diseños arquitectónicos para la clase alta [9].

En 1961 se comenzaron a realizar trabajos de investigación sobre los techos verdes, siendo en este mismo año la publicación del trabajo del investigador alemán Reinhard Bornkamm. Además, en 1970 se desarrollaron investigaciones técnicas, principalmente acerca de la estructura y los componentes de los techos verdes [7].

En los años 70s, derivado de la preocupación mundial por el crecimiento demográfico, el incremento desmedido de la contaminación ambiental y los indicios del agotamiento de los recursos renovables y no renovables, la implementación de los techos verdes se popularizó en diferentes países como Alemania, Francia y Suiza como una alternativa para mitigar los daños ocasionados al planeta por la propia actividad del hombre [9].

La organización Green Roofs for Healthy Cities [10] define a los techos verdes como un sistema colocado en el techo de un edificio que funciona como un medio impermeabilizante, de cultivo y plantas. Por su parte Odli et al. [2], los define como un manto con vegetación que crece en el techo de un edificio. También, como un invernadero colocado en la azotea de una construcción que por sus características permite el cultivo de hortalizas para el autoconsumo [11]. Luego entonces, un techo verde puede definirse como una capa de vegetación colocada en los techos de las construcciones, la cual funciona como un medio de cultivo, así como un sistema impermeabilizante que filtra y limpia el agua pluvial y el aire.

Composición de un techo verde

La composición de un techo verde es de gran importancia, pues de ello dependerá el éxito en el funcionamiento y la vida útil del mismo. Según Morales, Cristancho & Baquero [12], un techo verde está conformado, generalmente, como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Composición de un techo verde. Fuente: Morales, Cristancho & Baquero [12]

La primera capa de un techo verde es la de vegetación que es la naturación conformada por plantas adaptables al ambiente. Posterior a ésta se encuentra el sustrato que corresponde a la capa fundamental del sistema pues en él se concentran los nutrientes, el agua y el soporte para la vegetación instalada. En seguida se localiza la capa filtrante la cual tiene como función principal lavar las partículas más pequeñas provenientes del sustrato, evitando así que pasen al drenaje. La siguiente capa es la de drenaje y retención de agua que principalmente recopila el agua suficiente para abastecer a la vegetación. La capa posterior es la de protección que permite proteger la capa de aislamiento térmico. La siguiente capa es la impermeabilizante que evita que se pase el agua que pudiera filtrarse en la capa de drenaje. Posteriormente, está la capa de aislamiento térmico que cumple la función de transportar la carga y de eliminar los puentes térmicos existentes. Finalmente, está ubicada la barrera de vapor que evita el paso del vapor de agua hacia el techo de la construcción.

Clasificación de los techos verdes

Los techos verdes han sido clasificados, generalmente, en dos grupos, intensivos y extensivos. Como se muestra en el cuadro 1, la clasificación se ha realizado considerando principalmente el espesor de su sustrato, el tipo de vegetación y el propósito de éstos.

Los techos verdes extensivos presentan una mayor demanda de instalación, aproximadamente el 91% de los casos, puesto que requieren menor infraestructura, poco mantenimiento y riego por tener un sustrato de menor espesor y vegetación ligera, lo que permite que los costos de instalación y de mantenimiento sean menores y, además el peso adicional en la construcción donde se instalen es menor en comparación con los de tipo intensivo [12], [17].

Cuadro 1. Clasificación de los techos verdes.

Características	Extensivos	Intensivos
Espesor del sustrato	2 cm a 20 cm	> 20 cm
Peso adicional	30 a 220 kg/m ²	300 a 1500 kg/m ²
Tipo de vegetación	Musgo, hierba y pasto	Arbustos y árboles pequeños
Uso	Decorativo o cultivo	Recreación
Costo de instalación	\$1,000.00 - \$1,500.00 / m ²	\$1,200.00 - \$3,500.00 / m ²
Mantenimiento	Simple	Complejo
Riego	Poco frecuente	Constante
Demanda	Alta	Baja

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Azoteas Verdes [13]; Green Roof for Healthy Cities [10]; Morales Mojica et al. [12]; Norton et al. [14]; Saadatian et al. [15]; Sempergreen [16].

Por otra parte, los techos verdes intensivos al tener una estructura semejante a un jardín convencional tienen un peso más elevado y requieren mayor infraestructura, pues en estos es posible colocar desde arbustos pequeños hasta árboles y equipo más elaborado, pues normalmente son utilizados para fines recreativos. Por lo anterior, la instalación y el mantenimiento tiene un costo elevado, ya que la vegetación instalada requiere constante riego, poda, fertilización y control de plagas para garantizar el buen estado de la misma [12], [15], [17].

Beneficios de los techos verdes

Teniendo como marco de referencia el paradigma del desarrollo sustentable Desarrollado en el Informe de Brundtland titulado “Nuestro Futuro Común”, publicado por la Comisión Mundial de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo en 1987 [18], fue definido como la capacidad de satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad para satisfacer las necesidades de las generaciones futuras [19]. Se destaca el primer modelo de desarrollo sustentable que contemplaba tres enfoques principales: desarrollo económico, el desarrollo social y la protección y cuidado del ambiente, dentro de los cuales se señala que es necesario que exista un equilibrio para obtener un desarrollo a largo plazo [20].

Es así como la instalación de techos verdes juega un papel importante por los múltiples beneficios ambientales, económicos y sociales que proveen. Distintos autores y organizaciones, a través de investigaciones teóricas y prácticas, han demostrado que los techos verdes pueden reducir las escorrentías y el efecto de isla de calor urbano, así como incrementar la vida útil de los tejados y mejorar la salud física y mental de las personas, logrando así disminuir los porcentajes de mortandad (cuadro 2).

Los beneficios ambientales, económicos y sociales que proveen los techos verdes (cuadro 2), permiten considerar a esta tecnología verde como una estrategia para contrarrestar los daños ocasionados al planeta y así contribuir al desarrollo sustentable.

A nivel ambiental los techos verdes contribuyen de forma positiva al cambio climático, ya que tienen la capacidad de contrarrestar el efecto de la isla de calor urbano disminuyendo la temperatura del ambiente entre 0.3 y 3°C [9]. También hacen posible la disminución de la concentración de polvo en la atmósfera en un 25% y almacenan un promedio de 168 g

de carbono por cada m² de su área [29], lo que permite disminuir la contaminación química existente. Asimismo, los techos verdes permiten reducir el consumo de agua dulce en las ciudades, pues disminuyen el flujo anual de escorrentía entre 27 y 81% a través de la retención del agua pluvial entre un 35 y 41% para poder ser reutilizada [24] y permiten estabilizar el nivel de aguas subterráneas y bajar así el riesgo por inundaciones en las urbes [30]. Finalmente, contribuyen a la conservación de la biodiversidad al funcionar como hábitat para la flora y fauna de las regiones, permitiendo así la reproducción y migración de las especies [28].

Cuadro 2. Beneficios de los Techos Verdes

SECTOR	BENEFICIOS
AMBIENTAL	<ul style="list-style-type: none"> Regulación térmica del ambiente Reducción del efecto de isla de calor urbano Mejora de la calidad del aire Secuestro de CO₂ Reducción de escorrentías Aprovechamiento del agua pluvial Aislamiento acústico Conservación de la biodiversidad
ECONÓMICO	<ul style="list-style-type: none"> Incentivos fiscales Incremento en el valor de los inmuebles Aumento en la vida útil de los tejados
SOCIAL	<ul style="list-style-type: none"> Reducción en el consumo de energía Mejora de la salud física y mental Disminución en los porcentajes de mortandad Fomento de las relaciones sociales Acceso a la educación verde Obtención de productos agrícolas para el autoconsumo Mejora estética de las urbes

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Berardi et al. [9]; El Economista [21]; Excelsior [22]; Green Roofs for Healthy Cities [23]; Grzegorz [24]; Keniger, Gaston, Irvine, & Fuller [25]; Markevych, et al. [26]; Meulen [27]; Wang, et al. [28].

Por otra parte, en la base social los techos verdes, principalmente de tipo intensivos, mejoran la salud física y mental de las personas por la captación de virus y contaminantes existentes en el ambiente, además de que permiten la activación física [26] y disminuyen los niveles de estrés y presión sanguínea de las personas [25] lo que hace posible el decremento de los porcentajes de mortandad hasta en un 9% [31]. Además, los techos verdes pueden dar acceso a las personas a alimentos agrícolas, pues es posible cultivar en ellos tomate, pepino, pimiento, albahaca, cebolla, lechuga, col, chícharo y frijol para el autoconsumo [32]. Asimismo, reducen el consumo de energía por el uso de aire acondicionado entre 25 y 80% gracias a que disminuyen la temperatura de las edificaciones hasta 20°C ya que absorben el 60% de la

radiación solar. Finalmente, proveen la oportunidad de aprender y conocer sobre biología y sus beneficios y hacen posible la mejora en las relaciones sociales, pues permiten la interacción social y disminuyen la violencia [25].

Finalmente, en lo que a beneficios económicos se refiere, en México la instalación de techos verdes hace posible obtener incentivos fiscales como lo es el descuento del 10% en el pago del predial [22]. Además de incrementar el valor de los inmuebles de aproximadamente 15% [33] y lograr extender la vida útil de los tejados a más de 60 años [30].

La gran cantidad de beneficios que aportan los techos verdes a la sociedad, al ambiente y a la economía resalta la importancia del estudio de esta tecnología verde principalmente en los ámbitos científico y tecnológico. De acuerdo con estadísticas de la base de datos científica Web of Science [34], 2017 fue el año con mayor producción científica, pues fueron publicados 933 productos científicos referentes a techos verdes. Además, cabe destacar que los Estados Unidos de América es el país con mayor producción científica, ya que en los últimos cinco años ha publicado 315 productos científicos. Es importante destacar que México no está dentro de los países con mayor producción científica respecto al tema, puesto que el número de publicaciones científicas del país, en los últimos cinco años, es de 10 productos científicos.

Por otra parte, existen organizaciones internacionales que se dedican al estudio, apoyo y fomento de la implementación de techos verdes. Un ejemplo de este tipo de organizaciones es World Green Infrastructure Network (WGIN), organización sin fines de lucro dedicada a investigar y difundir información acerca de los techos verdes, además de organizar y celebrar uno de los congresos más importantes a nivel mundial titulado “Congreso Mundial de Infraestructura Verde”, mismo que en 2010 se celebró en México [35]. Además, WGIN apoya a organizaciones nacionales de techos verdes como, en México, la Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas (AMENA) [36]. También existe Green Roofs for Healthy Cities, asociación americana sin fines de lucro que se encarga de impulsar la expansión y crecimiento de la industria de techos y paredes verdes en América del Norte [37].

Cabe destacar que también existen academias para formar profesionales especializados en techos verdes, siendo un ejemplo Living Architecture Academy de la asociación Green Roofs for Healthy Cities, donde se imparten cursos de capacitación y certificación en temas relacionados con su diseño, instalación y mantenimiento. Además, esta misma asociación cada año hace reconocimiento y premia, a través del programa Green Roof and Wall Awards of Excellence, al mejor diseño, la mejor investigación, la mejor contribución cívica y la contribución más significativa en la industria de los techos verdes [38].

Implementación de techos verdes en México

Se considera que en la aplicación de esta tecnología verde México ha tenido un gran avance, pues actualmente cuenta con diferentes casos de éxito y se sigue trabajando en investigación e implementación y expansión de esta tecnología. México cuenta con casos de éxito de techos verdes como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Techos Verdes en México

PROYECTO	UBICACIÓN	AÑO	ÁREA (m ²)
SECTOR PÚBLICO			
Jardín Botánico CICEANA	Coyoacán, CDMX	1999	72
CENDI del Sistema de Transporte Colectivo	Cuauhtémoc, CDMX	2007	1190
Glorieta del metro	Insurgentes Cuauhtémoc, CDMX	2007	1037
Hospital de Especialidades Dr. Belisario Domínguez	Iztapalapa, CDMX	2008	975
Escuela Preparatoria Iztacalco “Felipe Carrillo Puerto”	Iztacalco, CDMX	2008	1500
Escuela Preparatoria Coyoacán “Ricardo Flores Magón”	Coyoacán, CDMX	2008	2225
Centro de Educación Ambiental “Yautlica”	Iztapalapa, CDMX	2008	1500
Secundaria Técnica N° 14 “Cinco de Mayo”	Benito Juárez, CDMX	2008	221
INFONAVIT	Álvaro Obregón, CDMX	2011	5266
Museo de Historia Natural	Miguel Hidalgo, CDMX	2015	72
SECTOR PRIVADO			
Tienda de Autoservicio Superama Polanco	Miguel Hidalgo, CDMX	2008	5014
Centro de Contacto Roberto González Barrera	Monterrey, Nuevo León	2013	1750
Universidad Iberoamericana CDMX	Álvaro Obregón, CDMX	2019	1350

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Calvo, et al. [39]; Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América [40]; Ecoosfera [41]; El Economista [42]; Excelsior [43]; Milenio [44]; Plan Verde [45]; Universidad Iberoamericana [46].

Como se observa en el cuadro 3, México cuenta con un número considerable de casos de éxito, sin embargo, para ejemplificar un caso de éxito se consideró el techo verde del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), por ser considerado el más grande e importante de Latinoamérica.

Techo verde del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores

En 2008 nace la idea del proyecto de instalación de la azotea verde en el edificio de las oficinas del INFONAVIT, el cual tenía como principal objetivo fomentar la conciencia ecológica en la sociedad y mejorar el sistema de impermeabilización [47]. El proyecto comenzó a ejecutarse en marzo de 2011 y finalmente se inauguró el 7 de junio del mismo año por el expresidente Felipe Calderón y el director del instituto Víctor Manuel Borrás Setién [48].

El área total que alberga este techo verde es de 5266 m², de la cual 2500 m² pertenecen al área verde del lugar. Dicha área verde está conformada por 163 especies diferentes de plantas nacionales [49]. El resto del área alberga espacios de descanso, ocio o deporte que incluyen una pista para correr de 400 m, un invernadero para la siembra y cosecha de hortalizas para el consumo de los empleados del propio instituto, un estanque de 1000 L de agua cristalina, baños y vestidores equipados con regaderas suministradas de agua caliente por calentadores solares [50], [51], [52].

La instalación de este techo verde tuvo un costo total de aproximadamente \$8,000,000.00 con bienes económicos [53]. A pesar de que el costo de instalación fue elevado, los beneficios ambientales, sociales y económicos que se han obtenido a largo plazo de este proyecto han sido bastantes y muy satisfactorios para los trabajadores de este.

Dentro de los beneficios ambientales está la posibilidad de cultivar hortalizas para el autoconsumo, reutilización de materiales orgánicos a través del uso de la lombricomposta, reutilización y ahorro del consumo de agua por medio del tratado, gestión y utilización de aguas pluviales para el riego del área verde, disminución de la temperatura del edificio del 10 al 15%, conservación de la flora nacional y la mitigación de la isla de calor urbana [43].

Por otro lado, dentro de los beneficios sociales destacan la posibilidad de utilizar el espacio con fines educativos, pues se dan recorridos escolares y permite el acceso a profesionistas de diferentes países para la realización de estudios e investigaciones [52]. También permite la recuperación de espacios con fines recreativos que hacen posible mejorar la salud física y psicológica de los trabajadores del lugar y del público en general [51].

Finalmente, de acuerdo con el diario Excelsior [43], los beneficios económicos que se han obtenido son principalmente el descuento en el pago del predial y agua de hasta un 30%, lo cual es muy significativo, pues se pagan alrededor de \$2,000,000.00 por concepto de predial. Asimismo, esta azotea verde ha permitido la reducción de consumo de energía por la disminución de utilización de aire acondicionado y calefacción, ya que disminuye la temperatura interior del edificio.

Por otra parte, es importante mencionar que esta azotea verde, además de ser considerada la más grande de Latinoamérica, ha obtenido importantes certificaciones como lo son la Certificación Roof Point por no hacer uso de químicos para su mantenimiento y contribuir al cuidado ambiental [52]. También obtuvo en 2011 la Certificación de Edificación Sustentable con grado de excelencia por la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) [54].

El INFONAVIT es un instituto que busca estrategias para contribuir con el desarrollo sostenible en apego a los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible en la Agenda 2030, por lo que se considera un ejemplo para la adopción de ecotecnias que permitan lograr dichos objetivos y mejorar la calidad de vida de la sociedad. Por lo anterior, actualmente el INFONAVIT a través de su programa “hipoteca verde” creado en 2010, otorga un aumento en el crédito de viviendas para la instalación de ecotecnologías que permitan disminuir el consumo de agua, energía y gas [55].

Actualmente en México, en materia legal, se cuenta con la Norma Ambiental para el Distrito Federal publicada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), donde se establecen las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación.

Conclusiones

Los techos verdes han funcionado como una estrategia para contribuir con el desarrollo sustentable, pues a través de esta tecnología verde es posible obtener beneficios ambientales como la disminución de la contaminación y temperatura del ambiente, beneficios sociales como la reducción de enfermedades y porcentajes de mortandad en la población y beneficios económicos como el ahorro por la disminución del consumo de energía. Sin embargo, a pesar de que esta tecnología aporta tales beneficios, es utilizada únicamente en ciertos países desarrollados como Suiza, Alemania, Francia y España y en algunos subdesarrollados como Colombia, Argentina y México, principalmente por el costo elevado de instalación y mantenimiento.

A pesar de que México es uno de los países que utiliza esta tecnología y de que alberga el techo verde más grande de Latinoamérica, a nivel de investigación científica el país se encuentra en una etapa temprana en producción de documentos científicos a nivel internacional, pues no figura dentro de los países con mayor producción. Lo que abre un abanico de posibilidades y oportunidades a futuras investigaciones respecto a los beneficios que es posible obtener con base en las condiciones ambientales, sociales y económicas del país.

Referencias

- [1] Banco Mundial. (2017). Población urbana. [Online]. Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/sp.urb.totl.in.zs>
- [2] Z. S. M. Odli, I. A. Zakarya, F. N. Mohd, T. N. T. Izhar, N. M. Ibrahim, y N. Mohamad. (2016). Green Roof Technology- Mitigate Urban Heat Island (UHI) Effect. MATEC Web of Conferences, 78, 01100. [Online]. Recuperado de: <https://doi.org/10.1051/matecconf/20167801100>
- [3] Organización de las Naciones Unidas. (2017, Mayo 1). Objetivos de desarrollo sostenible. [Online]. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2017/05/hasta-13-millones-de-hectareas-de-bosques-desaparecen-cada-ano-por-la-accion-del-hombre/>
- [4] I. A. Rojas y E. Rodríguez. (n.d.). Cambio climático. [Online]. Recuperado de: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/cambioclimatico.pdf>
- [5] M. Santamouris. "Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments", *Solar Energy*, vol. 103, pp. 682–703, Mayo 2014. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- [6] R. D. Brown, J. Vanos, N. Kenny, y S. Lenzholzer. "Designing urban parks that ameliorate the effects of climate change", *Landscape and Urban Planning*, vol. 138, pp. 118-131, Junio 2015. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.006>
- [7] Y. Saharkhiz, M. Valizadeh. "Energy Consumption Reduction in Buildings Through Applying Green Roofs", *TOJDAC*, Edición Especial, pp. 1692–1696, Agosto 2016. <http://doi.org/10.7456/1060AGSE/051>
- [8] E. Oberndorfer, J. Lundholm, B. Bass, R.R. Coffman, H. Doshi, N. Dunnett, S. Gaffin, M. Köhler, K. K. T. Liu, B. Rowe. "Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services", *BioScience*, vol. 57, pp. 823–833, Noviembre 2007. <https://doi.org/10.1641/B571005>
- [9] U. Berardi, A.H. Ghaffarianhoseini, A. Ghaffarianhoseini. "State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs", *Applied Energy*, vol. 115, pp. 411–428, Febrero 2014. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>
- [10] Green Roofs for Healthy Cities. (n.d.). About Green Roofs. [Online]. Recuperado de: <https://greenroofs.org/about-green-roofs/>
- [11] O. Pons, A. Nadal, E. Sanyé-Mengual, P. Llorach-Massana, E. Cuerva, D. Sanjuan-Delmàs, Pe. Muñoz, J. Oliver-Solà, C. Planas, M. R. Rovira. "Roofs of the Future: Rooftop Greenhouses to Improve Buildings Metabolism", *Procedia Engineering*, vol. 123, pp. 441–448, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.084>
- [12] J. A. Morales-Mojica, M. A. Cristancho-Santos, G. A. Baquero Rodríguez. "Tendencias en el diseño, construcción y operación de techos verdes para el mejoramiento de la calidad del agua lluvia. Estado del arte", *Ingeniería Del Agua*, vol. 21, pp. 179–196, Julio 2017. <https://doi.org/10.4995/ia.2017.6939>
- [13] Azoteas verdes. (n.d.). Costos de las azoteas verdes. [Online]. Recuperado de: <https://azoteasverdes.com.mx/cuantocuestaunaazoteaverde/>

- [14] B. A. Norton, A. M. Coutts, S. J. Livesley, R. J. Harris, A. M. Hunter, y N. S. G. Williams, "Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes", *Landscape and Urban Planning*, vol. 134, pp. 127–138, February 2015. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.018>
- [15] O. Saadatian, K. Sopian, E. Salleh, C. H. Lim, S. Riffat, E. Saadatian, A. Toudeshki, M. Y. Sulaiman, "A review of energy aspects of green roofs", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 23, pp. 155–168, Julio 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.022>
- [16] Sempergreen. (n.d.). Diferencias entre cubiertas vegetales extensivas e intensivas. [Online]. Recuperado de: <https://www.sempergreen.com/co/soluciones/techo-verde/preguntas-frecuentes/que-es-una-cubierta-vegetal-extensiva>
- [17] Sempergreen. (n.d.). Mantenimiento de una cubierta vegetal. [Online]. Recuperado de: <https://www.sempergreen.com/co/soluciones/techo-verde/mantenimiento>
- [18] CMMAD, "Informe Brundtland – Nuestro futuro común", Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Asamblea General, Informe, 4 de agosto de 1987.
- [19] T. Kuhlman y J. Farrington, "What is Sustainability?", *Sustainability*, vol. 2, no.11, pp. 3436–3448, Noviembre 2010. <https://doi.org/10.3390/su2113436>
- [20] Organización de las Naciones Unidas. (2017, Junio 6). ¿Qué es el desarrollo sostenible y por qué es importante?. [Online]. Recuperado de: <http://www.onu.org.mx/que-es-el-desarrollo-sostenible-y-por-que-es-importante/>
- [21] I. Santa. (2010, Diciembre 9). Azoteas verdes, inversión de altura. [Online]. Recuperado de: <https://www.economista.com.mx/finanzaspersonales/Azoteas-verdes-inversion-de-altura-20101209-0054.html>
- [22] Excelsior. (2016, Enero 13). Ofrecen beneficios fiscales por instalar azoteas verdes en el DF. [Online]. Recuperado de: <https://www.excelsior.com.mx/comunidad/2016/01/13/1068598>
- [23] Green Roofs for Healthy Cities. (n.d.). About Green Roofs. [Online]. Recuperado de: <https://greenroofs.org/about-green-roofs>
- [24] G. Peczkowski, T. Kowalczyk, K. Szawernoga, W. Orzepowski, R. Zmuda y R. Pokladek, "Hydrological Performance and Runoff Water Quality of Experimental Green Roofs", *Water*, vol. 10, no. 9, Septiembre 2018. <https://doi.org/10.3390/w10091185>
- [25] L. E. Keniger, K. J. Gaston, K. N. Irvine y R. A. Fuller, "What are the Benefits of Interacting with Nature?", *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 10, no. 3, pp. 913-935, Marzo 2013. <https://doi.org/10.3390/ijerph10030913>
- [26] I. Markevych, J. Schoierer, T. Hartig, A. Chudnovsky, P. Hystad, A. M. Dzhambov, ..., M. Standl, J. Heinrich, E. Fuertes, "Exploring pathways linking greenspace to health : Theoretical and methodological guidance", *Environmental Research*, vol. 158, pp. 301–317, Octubre 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.06.028>
- [27] S. H. Van Der Meulen, "Costs and Benefits of Green Roof Types for Cities and Building Owners", *J. Sustain. Dev. Energy, Water Environ. Syst.*, vol. 7 no. 1, pp 57-71, 2019. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d6.0225>
- [28] J. W. Wang, C. H. Poh, C. Y. Ting, V. N. Lee, A. Jain, E. L. Webb, "Building biodiversity: drivers of bird and butterfly diversity on tropical urban roof gardens", *ESA*, vol. 8, no. 9, Septiembre 2017. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1905>
- [29] P. M. Živković, D. G. Dimitrijević-Jovanović, Z. Z. Stevanović, "The impact of the building envelope with the green living systems on the built environment", *Thermal Science*, vol. 22, no. 4, pp. 1033–1045, 2018. <https://doi.org/10.2298/TSCI170531225D>
- [30] Sempergreen. (n.d.). Beneficios de una cubierta vegetal. [Online]. Recuperado de: <https://www.sempergreen.com/co/soluciones/techo-verde/beneficios>
- [31] W. L. Zijlema, A. Stasinska, D. Blake, M. Dirgawati, L. Flicker, B. B. Yeap, J. Golledge, G. J. Hankey, M. Nieuwenhuijsen, J. Heyworth, "The longitudinal association between natural outdoor environments and mortality in 9218 older men from Perth, Western Australia", *Environment International*, vol. 125, pp. 430–436, Octubre 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.075>
- [32] S. A. Walters, y K. S. Midden, "Sustainability of Urban Agriculture: Vegetable Production on Green Roofs", *Agriculture*, vol. 8, no. 11, Octubre 2018. <https://doi.org/10.3390/agriculture8110168>
- [33] Azoteas verdes. (n.d.). Beneficios de las azoteas verdes. [Online]. Recuperado de: <https://azoteasverdes.com.mx/beneficios/>
- [34] Web of Science. (n.d.). Análisis de los resultados. [Online]. Recuperado de: https://wcs.webofknowledge.com/RA/analyze.do?product=UA&SID=5AlhsDwn7OjrtRXGY8&field=CU_CountryTerritory_CountryTerritory_en&yearSort=false
- [35] World Green Infrastructure Network. (n.d.). About us. [Online]. Recuperado de: <https://worldgreeninfrastructurenetwork.org/page.php?id=17&parent=8>

- [36] World Green Infrastructure Network. (n.d.). Amena Mexico. [Online]. Recuperado de: <https://worldgreeninfrastructurenetwork.org/sliderpage.php?id=98&page=458&paged=458&parent=8&encrypt=aa59d8402d6710862adad60876d9f0c0>
- [37] Green Roofs for Healthy Cities. (n.d.). About us. [Online]. Recuperado de: <https://greenroofs.org/about-1>
- [38] Green Roofs for Healthy Cities. (n.d.). 2017 Awards of excellence. [Online]. Recuperado de: <https://greenroofs.org/awards>
- [39] D. K. Calvo-Ramos, A. Gómez-De la Cruz, P. E. Rodríguez-Hernández, "Techos verdes: un estilo ecoamigable", *Digital Ciencia UAQRO*, 2016. https://www.uaq.mx/investigacion/revista_ciencia@uaq/ArchivosPDF/v9-n1/QUIM-6.pdf
- [40] CICEANA, "Reporte anual 2013", Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, Reporte, 2013. Recuperado de: <http://www.ciceana.org.mx/assets/rep/2013.pdf>
- [41] Ecoosfera. (2014, Mayo 16). La azotea verde más grande de Latinoamérica crece en la Ciudad de México. [Online]. Recuperado de: <https://ecoosfera.com/2014/05/en-la-ciudad-de-mexico-crece-la-azotea-verde-mas-grande-de-latinoamerica/>
- [42] El economista. (2015, Enero 8). Techos verdes, por la ecología y la economía. [Online]. Recuperado de: <https://www.eleconomista.com.mx/arteseideas/Techos-verdes-por-la-ecologia-y-la-economia-20150108-0203.html>
- [43] Excelsior. (2011, Junio de 7). Tiene el Infonavit la azotea verde más grande de América Latina. [Online]. Recuperado de: <https://www.excelsior.com.mx/2011/06/07/nacional/743131>
- [44] Milenio. (2015, Enero 27). Inauguran azotea verde en Museo de Historia Natural. [Online]. Recuperado de: <https://www.milenio.com/estados/inauguran-azotea-verde-museo-historia-natural>
- [45] Plan Verde. (2011). Azoteas verdes: una opción para la Ciudad de México. [Online]. Recuperado de: <http://www.planverde.cdmx.gob.mx>
- [46] Universidad Iberoamericana. (2019, Marzo 20). Universidad Iberoamericana CDMX inaugura azotea verde. [Online]. Recuperado de <https://ibero.mx/prensa/universidad-iberoamericana-cdmx-inaugura-azotea-verde>
- [47] T. M. Roofing. (2013). Techo verde del INFONAVIT-México, D.F. [Online]. Recuperado de: https://mex.sika.com/dms/getdocument.get/6a1e572a.../techo_verde_infonavit.pdf
- [48] Expansión. (2011, Junio 7). Infonavit inaugura azotea verde gigante. [Online]. Recuperado de: <https://expansion.mx/obras/2011/06/07/infonavit-azotea-verde-sustentabilidad>
- [49] CICEANA, "Reporte anual 2017", Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, Ciudad de México, México, Reporte, 2017. Recuperado de: <http://www.ciceana.org.mx/assets/rep/2017.pdf>
- [50] Idea Jardín. *La azotea verde del INFONAVIT*. [Video]. 2015. De https://www.youtube.com/watch?v=3_ga-qfgCOo
- [51] Proceso. *Las azoteas verdes vs el calor de la ciudad*. [Video]. 2018. De <https://www.youtube.com/watch?v=uB1pVIsMJkk>
- [52] El economista. (2015, Marzo 3). "La azotea verde más grande de AL". [Online]. Recuperado de: <https://www.eleconomista.com.mx/arteseideas/La-azotea-verde-mas-grande-de-AL-20150303-0147.html>
- [53] Grupo Reforma. *Construye INFONAVIT azotea verde más grande de Latinoamérica*. [Video]. 2011. De <https://www.youtube.com/watch?v=tV8EYri7o60>
- [54] Milenio. *La azotea verde más grande de América Latina está en México*. [Video]. 2018. De <https://www.youtube.com/watch?v=Bh4JFV1C2KE>
- [55] Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores. (2019, Febrero 1). "Hipoteca Verde". [Online]. Recuperado de: https://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/infonavit/trabajadores/cuido_mi_casa/hipoteca+verde