

NOMBRE DE LA ACTIVIDAD: Tendencias y avances de los muros verdes considerando todo su ciclo de vida.

CURSO: Fundamentos y metodología de la investigación

DOCENTE: María Alejandra Rico Pérez

PROGRAMA: Construcciones Civiles

OBJETIVO DE LA ACTIVIDAD: Divulgar los avances de los estudios de doctorado de la docente María Alejandra Rico Pérez

PRODUCTOS A DIVULGAR: Presentación con los avances de los estudios de doctorado de la docente María Alejandra Rico Pérez

PROCESO: Investigación - SITEC



XXIV SEMANA DE LA FACULTAD

ARQUITECTURA E INGENIERÍA

VIGILADA por el Ministerio de Educación Nacional



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA
COLEGIO MAYOR
DE ANTIOQUIA®

Acreditados
en ALTA CALIDAD



Alcaldía de Medellín
Distrito de
Ciencia, Tecnología e Innovación

Tendencias y avances de los muros verdes considerando todo su ciclo de vida

una breve recapitulación de los avances en los estudios Doctorales de la docente María Alejandra Rico y su co-directora la Doctora Alejandra Balaguera

Directora de la tesis: Dra. Francesca Olivieri

Enfoque de ciclo de vida

ACV

El análisis del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) es una metodología para evaluar el impacto ambiental de productos y servicios a lo largo de su vida útil, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final.

DEL 28 DE OCTUBRE AL 1 DE NOVIEMBRE

El análisis del ciclo de vida (LCA) sigue un marco establecido por las normas ISO 14040 y 14044, que divide el proceso en cuatro fases esenciales: **Definición de objetivo y alcance; Análisis de inventario; Evaluación de impacto; e Interpretación.** Cada fase es crítica para asegurar un análisis completo y preciso de los impactos ambientales de un producto o servicio.



GUÍA RÁPIDA PARA REALIZAR UN ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA



Evalúe el impacto ambiental
de sus productos y servicios
a lo largo de su vida útil.

¿CÓMO HACER UN LCA?



Las fases se establecen según las **normas ISO 14040 y 14041**. Este es un proceso iterativo, en tanto la interpretación se puede hacer durante todo el proceso.

1
DEFINIR EL
OBJETIVO Y
EL ALCANCE

2
INVENTARIO
DEL CICLO DE
VIDA (ICV)

3
EVALUACIÓN
DEL IMPACTO

4
INTERPRETACIÓN

¿CÓMO DEFINIR OBJETIVO Y ALCANCE?

1

IDENTIFICAR

- Identificar el producto, empresa o servicio a evaluar.

DELIMITAR

- Establecer los límites del sistema (normas, profundidad de datos, etc.).

IMPACTO

- Elegir categorías de impacto (CO₂, uso de agua, etc.).

INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA

2

RECOPILAR
DATOS DE:



Materias primas y
listas de materiales.



Información de los
proveedores.



Energía consumida y
adquirida.



Todo lo que entra y sale
del sistema evaluado.

EVALUACIÓN DEL IMPACTO

3

CONVERTIR DATOS

Utiliza bases de datos y
literatura científica para
definir el impacto del
inventario.



SUMAR IMPACTOS

Agrega los impactos en las
categorías seleccionadas
(por ejemplo, Potencial de
Calentamiento Global en
equivalentes de CO₂).



INTERPRETACIÓN

4

ANALIZAR RESULTADOS

- Examina los
resultados para
entender sus
implicaciones.

COMPARAR

- Usa Reglas de
Categoría de
Producto (PCR)
para estandarizar
comparaciones.

MEJORAR

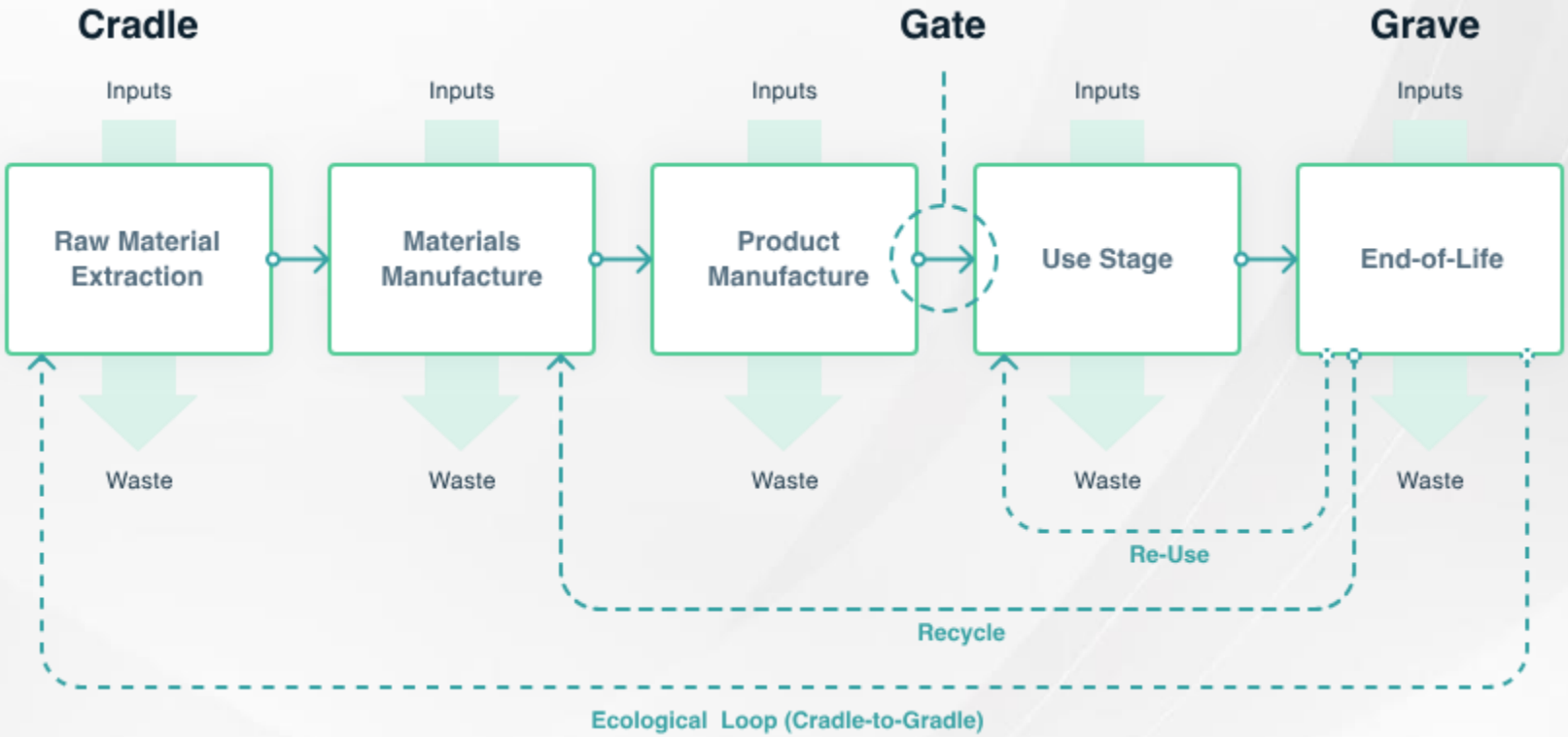
- Identifica y aplica
mejoras en los
procesos para
reducir los
impactos
ambientales.

SEMANA DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA

DEL 28 DE OCTUBRE AL 1 DE NOVIEMBRE

VIGILADO





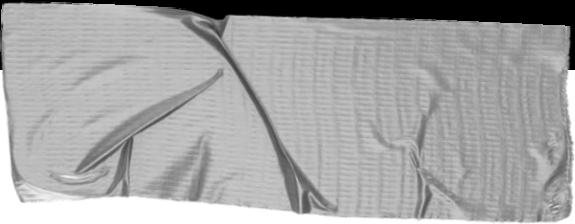
INTRODUCCIÓN

Los Jardines verticales se han venido presentando como una solución a problemáticas que presentan las ciudades contemporáneas, sin embargo, hace unos 10 años atrás algunos LCA han concluido que la sostenibilidad ambiental y económica de estos sistemas, no es tan clara dados sus componentes y mantenimiento



OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

El propósito general de la presente investigación es realizar un LCA de un Sistema de Muro Vivo (SMV) existente en la ciudad de Medellín, para detectar aquellos componentes de mayor impacto ambiental y realizar una propuesta de sustitución de dichos componentes.



MARCO DE REFERENCIA

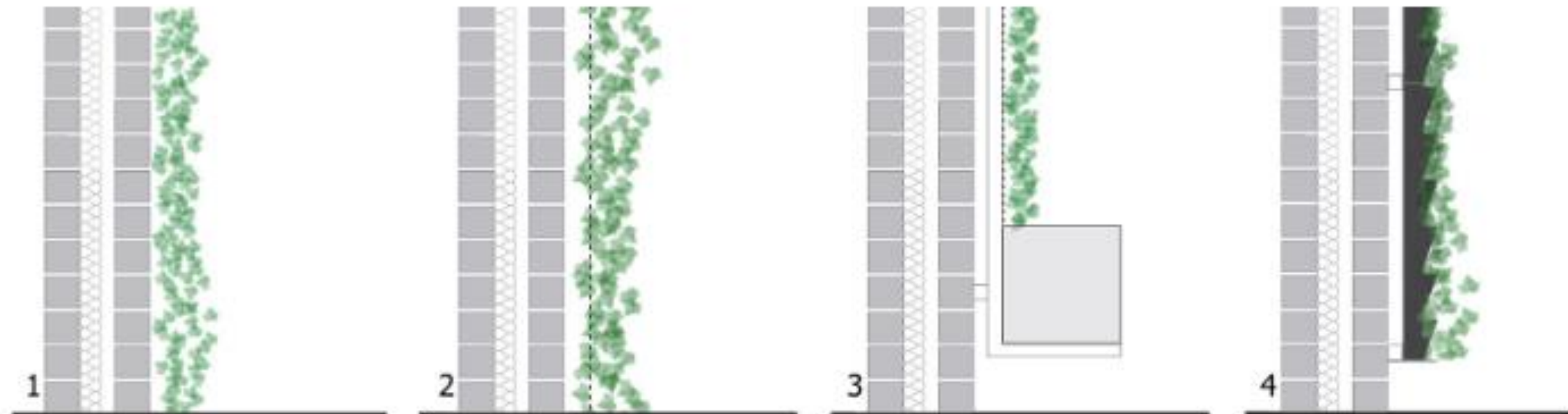
MARCO CONCEPTUAL

→ Tipos de paredes verdes

básicamente se pueden clasificar en 2 tipos generales, los sistemas directos y los sistemas indirectos, los cuales se clasifican en las siguientes 3 categorías o tipos: 1- pared verde tipo trepadora o pared verde colgante, 2-pared compuesta por macetas o 3- en la que se enfocará este estudio que es el Sistema de Muro vivo

→ Life Cycle Assessment (LCA)

Para el caso de un material o sistema constructivo, el ciclo de vida incluye principalmente la extracción de materia prima, el transporte, la producción, la construcción, el uso, el mantenimiento y la disposición final.(Perini, 2018)



Perini, K & Rosasco, P (2013)

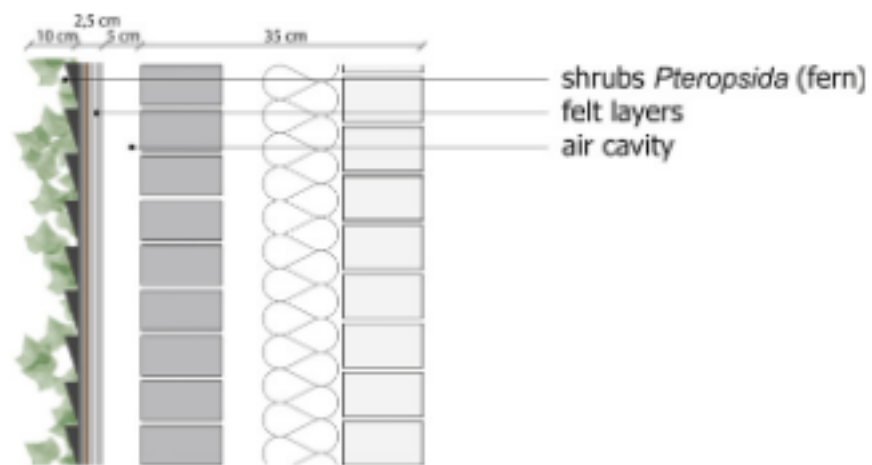


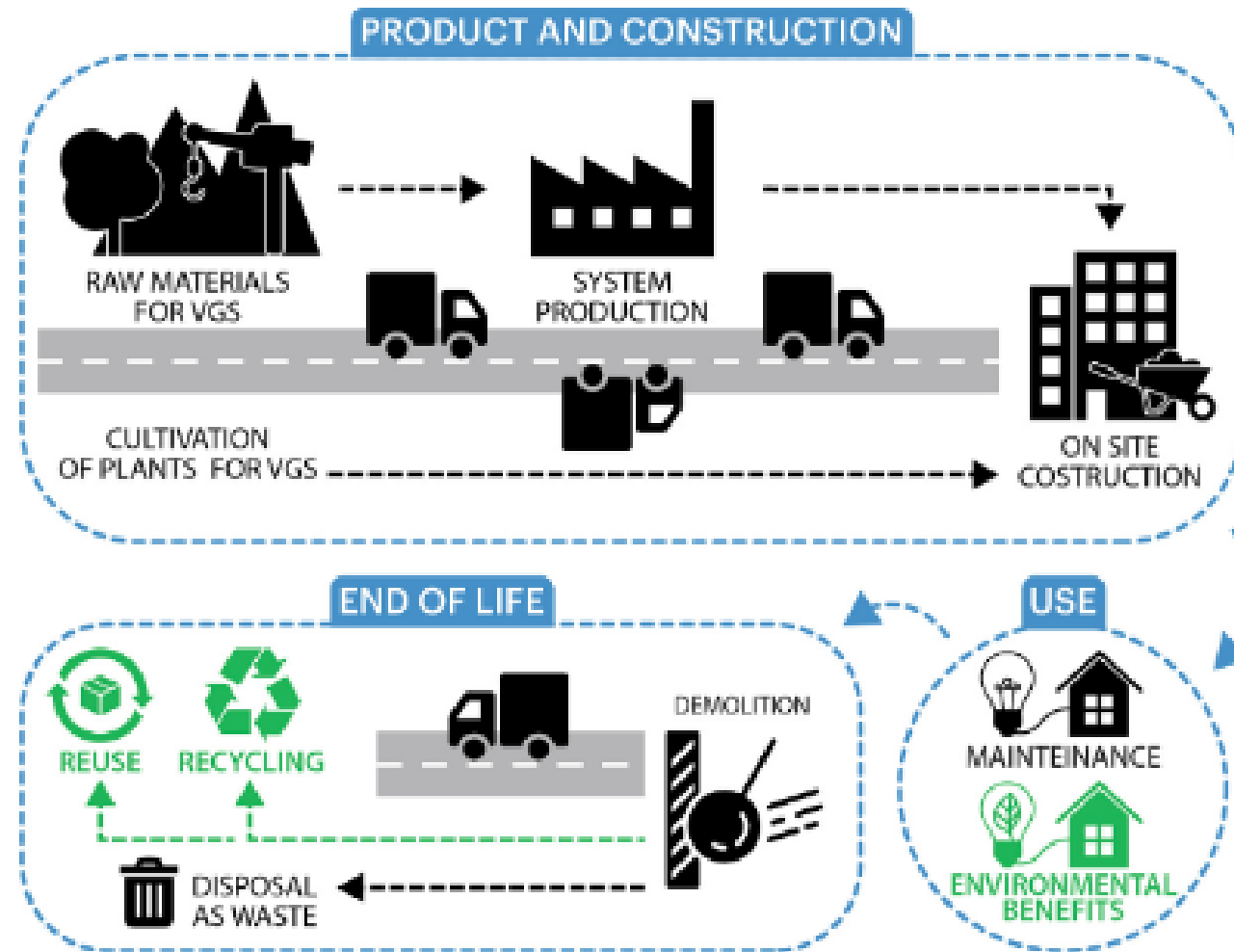
Fig. 5. LWS based on felt layers with materials layers.

M.Ottelé et al.(2011)

INVENTARIO PARA CARGA AMBIENTAL

Para obtener la **carga ambiental** de un **SMV** se debe diseñar un inventario de datos que debe incluir todos los materiales y componentes (considerando las dimensiones relacionadas y sus pesos). El presente cuadro relaciona los componentes conforme al tipo de sistema a analizar para el inventario.

COMPONENTES	SISTEMAS DIRECTOS	SISTEMAS INDIRECTOS	SISTEMAS INDIRECTOS CON MATERAS	SISTEMA DE MURO VIVO
Soporte estructural		Pernos de acero inoxidable, anclaje, soportes espaciadores	Pernos de acero inoxidable, anclaje, soportes espaciadores	perfil de acero y anclajes
Sistema de impermeabilizante				Placa de espuma de PVC, PP, etc.
Sistema de soporte / panel		Malla de acero, enrejado de madera, malla de plástico, etc.	Malla de acero, enrejado de madera, malla de plástico, etc.	Fieltro, jardineras de HDPE, geotextil, etc.
Sustrato	Suelo	Suelo	Sustrato para materas	Sustrato para materas
Sistema de riego			Tuberías de polietileno	Tuberías de polietileno
Demanda de agua	Agua subterránea	Agua subterránea	Agua del grifo y nutrientes	Agua del grifo y nutrientes
Vegetación	Plantas trepadoras	Plantas trepadoras	Plantas trepadoras	Plantas trepadoras y arbustos

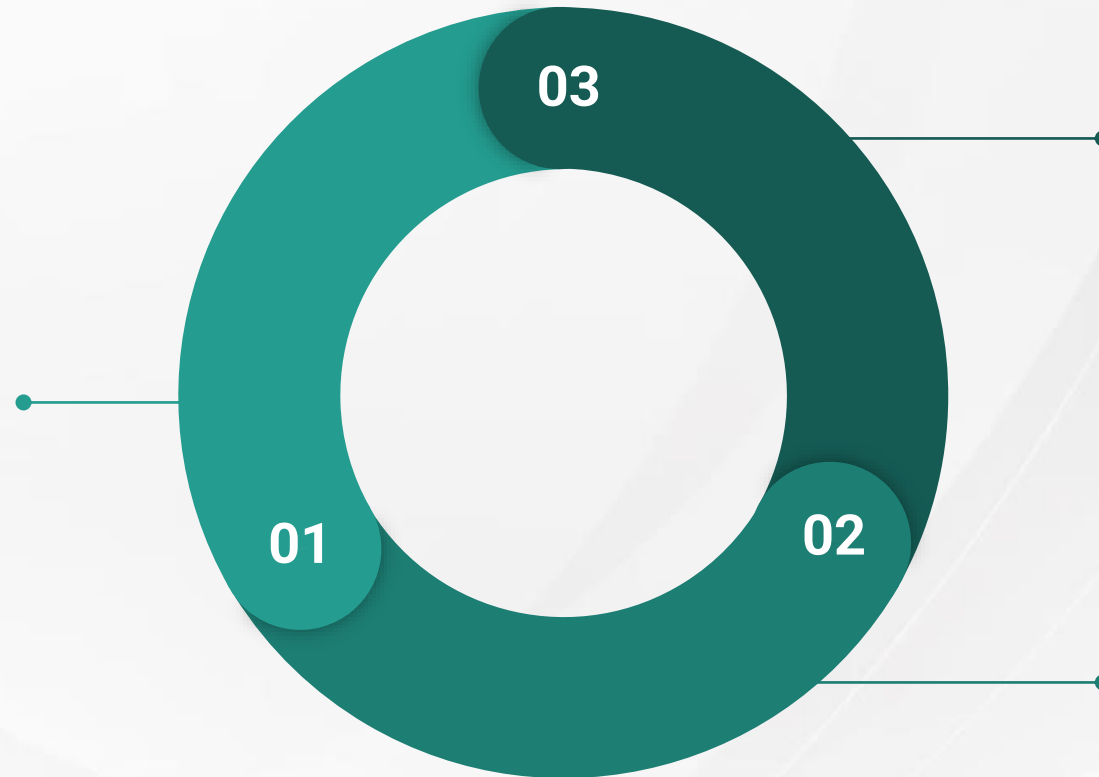


Perini (2018) - principales fases del ACV de jardines verticales

Búsqueda documental sistematizada oportunidad de reemplazo materialidad SMV

Tener en cuenta aspectos como materiales que más afectan la carga ambiental en el ACV, material importado, entre otras.

La revisión sistemática de la literatura (SLR por su sigla en inglés) es un método transparente y replicable que provee las contribuciones de trabajos de investigación previos en el área, el cual se llevará a cabo en 3 sub-etapas



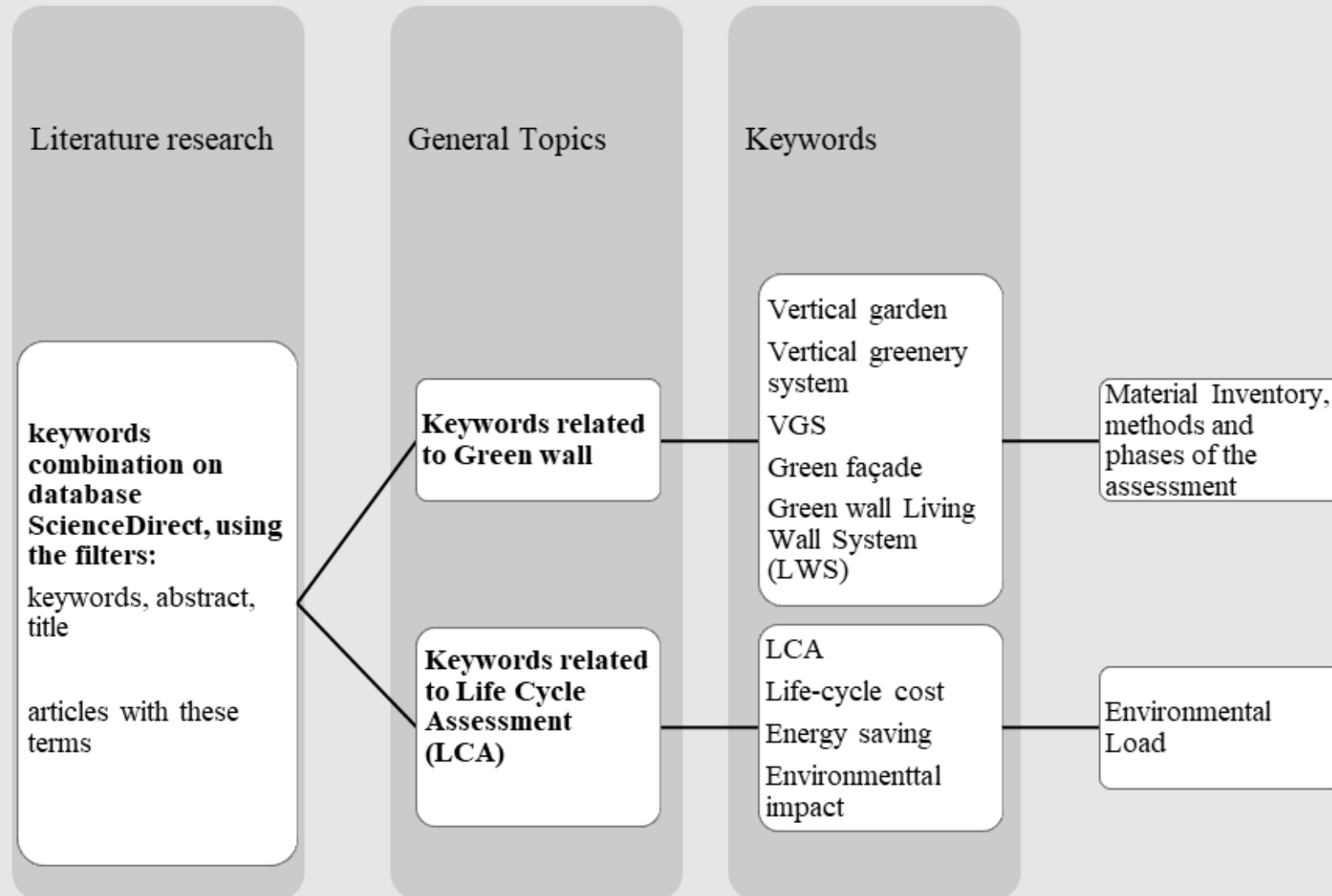
Análisis y diseminaciones

Matrices y sistematización de la información levantada

Estudios relacionados con ACV en paredes verdes

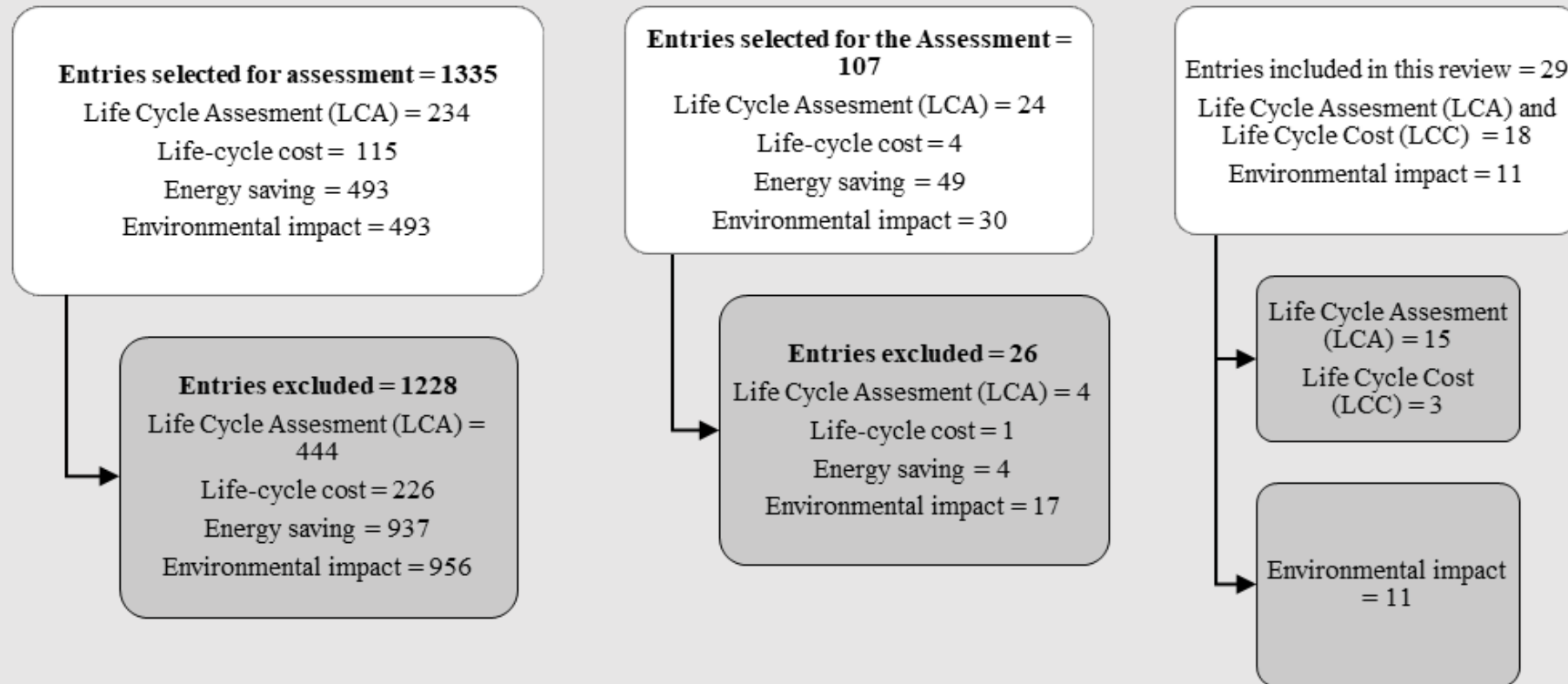
El Análisis de Ciclo de Vida está definido por la ISO14040:2006 como un compendio de la evaluación de los ingresos (p.e. materia prima, agua, energía), de los egresos (p.e. emisiones en el aire y desperdicios) y los impactos potenciales del sistema en su ciclo de vida.

Resultados del estado de la cuestión



filtro de búsqueda keyword, abstract, title

ACV (Life Cycle Assessment, Life-cycle cost, Energy saving, and Environmental impact) AND (Green façade, Green Wall, Living Wall System).

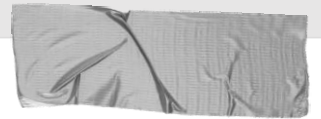


Consejo

1.1) planificación de la revisión; (1.2) seguido por la ejecución de la revisión y finalmente; (1.3) los reportes y las diseminaciones

- Principales resultados de la búsqueda documental

En Europa es donde se han realizado la mayor cantidad de estudios sobre paredes verdes **y varios autores resaltan la importancia de realizar estudios de caso específicos, considerando la ubicación.**



Se puede concluir que la etapa de producción de las paredes verdes, es la más representativa y que es vital la correcta selección de la materialidad y su durabilidad.

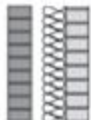
Components	1. Bare wall	2. Direct green	3. Indirect green	4. LWS planter boxes	5. LWS felt layers	6. LWS mineral wool
System preview						

Table 8

Inventory data collection of the analyzed green wall systems

Author	Type of System	Weight (kg/m ²)	Distance (km)	Service (years)	Life
G.M.J.A. Salah and A. Romanova [79]	LGW System	32	32218	10	
H. Feng, K. Hewage [80]	Trellis system	4	84	50	
	Planter box	102	155	38	
	living wall system				
	Felt layer living wall system	21	585	21	
M.Ottelé et al. [82]	Bare wall	380	347	50	
	Direct green	386	377	50	
	Indirect green	385	431	50	
	LWS planter boxes	848	502	35	
	LWS felt layers	1496	932	22	
M. Reyhani et al. [24]	Felt-based	54	1477	9	
	Plastic based	29283	434	10	
V. Oquendo-Di Cosola et al. [18]	LWS plastic planter boxes	8	320	10	
	LWS felt layers	13	320	10	
M. Ottelé and K. Perini [27]	1. Bare wall	380	347	50	
	2. Direct green	386	377	50	
	3. Indirect green	385	431	50	
	4. LWS planter boxes	848	502	35	
	5. LWS felt layers	1496	870	22	
	6. LWS mineral wool	1132	832	28	

Table 9

 Environmental Impact (kg CO₂ eq GWP 100a) of green wall systems

Author	Type of System	Sample Size	Environmental Impact (kg CO ₂ eq GWP 100a)			
			Manufacturing	Construction	Maintenance	Disposal
M. Chàfer, G. Pérez, Julià Coma et al. [74]	Reference	three house-like cubicles	77,73	522,49	0	0,9
	Green façade	3x3x3m	95,32	518,92	1,93	1,47
	Green wall		118,18	512,05	15,95	6,38
G.M.J.A. Salah and A. Romanova [79]	LGW by Scotscape Ltd.	17m ² of fictitious façade	44,53	1,82	7,94	0,91
H. Feng, K. Hewage [80]	The trellis system	1m ²	45,93	0,05	19	0,15
	The planter box LWS		180,8	1,78	19	2,12
	The felt layer LWS		191,7	0,73	3,8	1,44
M. Ottelé et al. [82]	2. Direct green	1m ²	5			
	3. Indirect green		150			
	4. LWS planter boxes		130			
	5. LWS felt layers		420			
	6. LWS mineral wool		580			
M. Manso et al.[78]	Geogreen system (Bare wall)	1m ²	3,59			
	Geogreen system (Support)		133,14			
	Geogreen system (Greening)		1,98			
V. Serra et al. [75]	Reference scenario	1m ²	55,98			
	Recycling scenario		20,45			
M. Reyhani et al. [24]	Felt-based	1m ²	43			
	Plastic based	1m ²	25			

Year	Author	Location	Orientation	Type of system	Functional unit	Service life	Evaluation method	system boundaries
2021	Marta Cháfer a,b, Gabriel Pérez c, et al.	España	oriented N-S	direct green, indirect green and bare wall				cradle to cradle
2017	V. Serra, L. Biancoa, E. Candelaria, R. et al.	Turin, Italia	South facing wall	indirect green	1m²			cradle to gate
2021	Ileana Blanco a, Giuliano Vox, et al.	not especificed	not especificed	1- Indirect green 2- bare wall	1m²	30	CML2001	
2022	Milad Reyhani, Enrica Santolini, et al.	Italia	not especificed	indirect green	1m²		Ecoinvent® v3.7 database	production, construction and mantanance
2021	Andreia Cortesa,b, Antonio Tadeua, et al.	Portugal	not especificed	indirect green		50		cradle to gate
2018	Maria Manso a,b, João Castro-Gomes, et al.	Abrantes, Portugal	not especificed	Indirect green	1m²			
2021	Ghofran M.J.A. Salaha, Anna Romanovaa	United Kingdom	not especificed	indirect green	1m²	25		cradle to cradle
2014	Haibo Feng, Kasun Hewage	not especificed	not especificed	3 types of indirect green	1m²		EnergyPlus simulation	cradle to cradle
2022	Fida Hussain Lakho a, Asif Qureshi b, et al.	Belgium	not especificed	indirect green	1m²	15		cradle to cradle
2011	Marc Ottelé, Katia Perini, et al.		not especificed	1- bare wall 2- direct green 3- 3 more types of indirect green	1m²	50		cradle to cradle
2013	Marc Otteléa, Katia Perini,	Delft (The Netherlands)	not especificed	1- bare wall 2- direct green 3- 4 more types of indirect green	1m²	50		cradle to cradle
2020	V. Oquendo-Di Cosola, F. Olivieria, et al.			1- bare wall 2- direct green 3- 3 more types of indirect green	1m²	10	Ecoinvent® Database v.3.5	cradle to cradle

SEMANA DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA



Localización de Estudios de LCA en LWS

Environmental impacts for a 1 m2 of the felt-based LWS.				
V. Oquendo-Di Cosolaa,b,* F. Olivieria,b, L. Ruiz-Garcíab,c, J. Bacenettid				
Impact category	Unit of measure	Manufacturing	Construction	Manitenance
Climate change	kgCO2 ₂ eq	20.74%	0.00%	79.26 %
Ozone depletion	kg CFC-11eq	26.73%	0.00%	73.26%
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	44.6%	0.00%	55.4%
Human toxicity, cancer effects	CTUh	48.06%	0.00%	51.94%
Particulate matter	kg PM2.5 eq	35.14%	0.00%	64.86%
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	35.27%	0.00%	64.72%
Acidification	molc H+eq	23.46%	0.00%	76.53%
Terrestrial eutrophication	molc N eq	13.99%	0.00%	86.00%
Freshwater eutrophication	kg O eq	35.9%	0.00%	64.09%
Marine eutrophication	kg N eq	16.68%	0.00%	83.32%
Freshwater ecotoxicity	CTUe	60.04%	0.00%	38.95%
Land use	kg C deficit	5.20%	0.00%	94.79%
Water resource depletion	m³ water eq	4.31%	0.00%	95.69%
Mineral, fossil & ren resource depletion	kg SB eq	92.52%	0.00%	7.48%

Se concluye por parte de varios autores que la estructura de soporte de los SMV es el componente que mayor carga ambiental representa

al ser compuesto en su mayoría por materiales metálicos y plásticos, es el componente que tiene mayor oportunidad de reemplazo por materiales reciclados



Consejo

ya algunos autores como Manso M, et. al, 2018, han innovado en propuestas de SMV modulares, haciendo uso de residuos industriales

2011	2014	2020	2021	2021	2022
Marc Ottelé, K. Perini, et, al. Los sistemas indirectos basados en sistemas de soporte en acero galvanizado tiene una alta influencia en la carga ambiental	Haibo Feng, Kasun Hewage el LCA mostró la necesidad de optar por materiales ambientalmente más amigables	V. Oquendo-Di Cosola a,b, F. Olivieri. a, et, al. el estudio resaltó que el uso de materiales reciclado y materiales con cargas ambientales bajas hacen parte de las estrategias sostenibles al planificar estos sistemas	Maria Manso a,b, João Castro-Gomes a,b, et, al. Concluyen que el soporte es el que presenta mayor impacto de todas las categorías, llegando a representar un 96% de la carga ambiental de esta categoría	Marta Chàfer a,b, Gabriel Pérez c, et, al. También concluyen que tanto la selección del material como el mantenimiento de los SMV son las etapas que afectan el impacto ambiental considerablemente	Milad Reyhani, Enrica Santolini, et, al. También coinciden en que la correcta selección del material puede ayudar en la disminución de la carga ambiental en la etapa de producción de los SMV

CONCLUSIONES

- Los LCA nos ayudan a entender los impactos ambientales de los muros verdes, para poder tomar decisiones informadas y proponer opciones sostenibles basadas en las condiciones específicas del proyecto.
- Se deben proponer y analizar más escenarios de reciclaje y reúso en la implementación de jardines verticales, teniendo en cuenta la vida útil de los componentes, así como los datos locales particulares que varían de un país a otro (Bases de datos que alimentan los software).
- La producción de muros verdes en las etapas de LCA tiene efectos ambientales significativos. Los jardines verticales directos e indirectos, junto con los (SMV) basados en cajas de cultivo, son opciones preferibles desde el punto de vista ambiental para la construcción y remodelación de edificios. Los SMV con mayor carga ambiental son los basados en fieltro.

REFERENCIAS

- 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. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2006.10.055>
- AMVA. (2019). *Atlas Metropolitano* (Vol. 1).
- Aram, F., Solgi, E., Baghaee, S., Higuera García, E., Mosavi, A., & Band, S. S. (2020). How parks provide thermal comfort perception in the metropolitan cores; a case study in Madrid Mediterranean climatic zone. *Climate Risk Management*, 30(September), 100245. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2020.100245>
- Bedoya, J., & Martínez, E. (2009). Calidad del aire en el valle de aburrá Antioquia-Colombia. *DYNA (Colombia)*, 76(158), 7–15.
- Dvorak, B., Yang, S., Menotti, T., Pace, Z., Mehta, S., & Ali, A. K. (2021). Native plant establishment on a custom modular living wall system in a humid subtropical climate. *Urban Forestry & Urban Greening*, 63, 127234. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2021.127234>
- Fernández García, F. (2009). Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid. *Investigaciones Geográficas*, 49(49), 173. <https://doi.org/10.14198/ingeo2009.49.09>
- Manso, M., Sousa, V., Silva, C. M., & Cruz, C. O. (2021). The role of green roofs in post COVID-19 confinement: An analysis of willingness to pay. *Journal of Building Engineering*, 44, 103388. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.103388>

REFERENCIAS

- Mariani, L., Parisi, S. G., Cola, G., Laforteza, R., Colangelo, G., & Sanesi, G. (2016). Climatological analysis of the mitigating effect of vegetation on the urban heat island of Milan, Italy. *Science of The Total Environment*, 569–570, 762–773. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2016.06.111>
- Oquendo-Di Cosola, V., Olivieri, F., Ruiz-García, L., & Bacenetti, J. (2020). An environmental Life Cycle Assessment of Living Wall Systems. *Journal of Environmental Management*, 254(May 2019), 109743. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109743>
- Ottelé, M., Perini, K., & Haas, E. M. (2013). Life cycle assessment (LCA) of green façades and living wall systems. *Eco-Efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*, 457–483. <https://doi.org/10.1533/9780857097729.3.457>
- Ottelé, Marc, & Perini, K. (2017). Comparative experimental approach to investigate the thermal behaviour of vertical greened façades of buildings. *Ecological Engineering*, 108(May), 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.016>
- Ottelé, Marc, Perini, K., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings*, 43(12), 3419–3429. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.010>
- Pan, L., & Chu, L. M. (2016). Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong: A case study. *Building and Environment*, 96, 293–300. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2015.06.033>
- Perini, K., & Rosasco, P. (2013). Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, 70, 110–121. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2013.08.012>

REFERENCIAS

- Shafique, M., Azam, A., Rafiq, M., Ateeq, M., & Luo, X. (2020). An overview of life cycle assessment of green roofs. *Journal of Cleaner Production*, 250. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119471>
- Sheweka, S., & Magdy, N. (2011). The Living walls as an Approach for a Healthy Urban Environment. *Energy Procedia*, 6, 592–599. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2011.05.068>
- WEF. (2016). World Economic Forum Annual Report 2016. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 80(8), S9.
- Wilmers, F. (1990). Effects of vegetation on urban climate and buildings. *Energy and Buildings*, 15(3–4), 507–514. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(90\)90028-H](https://doi.org/10.1016/0378-7788(90)90028-H)



