



CONFIGURACIONES DE TECHOS Y MUROS VERDES EN EDIFICACIONES PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA URBANA

Margareth Viecco

**Universidad Pontificia Bolivariana
Bucaramanga, Colombia**

Sergio Vera, Héctor Jorquera

**Pontificia Universidad Católica de
Chile
Santiago, Chile**

Resumen

En la última década la investigación e implementación de techos TVs y muros verdes MVs en edificaciones ha ido incrementando considerando los beneficios medioambientales que estos aportan al medio ambiente. Recientes estudios demuestran que su uso puede mejorar aspectos como disminución del consumo de energía al interior de edificios, incremento de la biodiversidad, aporta al control de escorrentías, mitigación de efecto de islas de calor urbano, mejora la conexión de las personas con la naturaleza y contribuye a la mitigación de la contaminación atmosférica urbana. Este último se considera muy importante debido a que su impacto se ve reflejado en la mejora de la calidad del aire de las ciudades, el cual ha sido considerado un problema de escala mundial y de interés de la Organización de las Naciones Unidas ONU. Muchas investigaciones sugieren implementar esta tecnología en las ciudades, sin embargo, no hay recomendaciones de configuraciones considerando altura de los edificios y coberturas de la vegetación. Este estudio se centró en identificar una configuración óptima de TVs y MVs en edificaciones con la finalidad de disminuir las concentraciones de material particulado proveniente principalmente de la combustión vehicular. El estudio fue realizado considerando simulaciones de un espacio urbano con Envi-met V4, el cual es un modelo de Dinámica Computacional de Fluidos CFD. Para esto se hizo un análisis teniendo en cuenta las condiciones climáticas y modificando dos variables de la estructura de los muros y techos: coeficiente de cobertura y altura de la edificación. Se hicieron simulaciones para coberturas de 25%, 50%, 75% y 100% y para alturas de 5m, 10m, 20m y 30m. Se realizaron todas las combinaciones posibles y se analizó la concentración de partículas a nivel del peatón. Los resultados mostraron que el impacto en la disminución de las concentraciones de CO son mayores usando muros verdes. Adicionalmente, se recomienda utilizar, para techos sobre edificios con alturas de hasta 10m, una cobertura entre 75% y 50%. Finalmente, se concluye que el uso de

esta infraestructura puede tener una gran influencia en la mejora de la calidad del aire y con la propuesta de configuración presentada podría maximizarse su potencial.

Palabras clave: techos verdes; muros verdes; contaminación atmosférica, captura material particulado

Abstract

In the last decade, the research and implementation of roofs TVs and green walls MVs in buildings has been increasing considering the environmental benefits they bring to the environment. Recent studies show that its use can improve aspects such as decreased energy consumption inside buildings, increased biodiversity, contributes to the control of runoff, mitigation of urban heat islands effect, improves the connection of people with nature and contributes to the mitigation of urban air pollution. The latter is considered very important because its impact is reflected in the improvement of air quality in cities, which has been considered a problem of global scale and of interest to the United Nations Organization. Many investigations suggest to implement this technology in the cities, however, there are no recommendations of configurations considering the height of the buildings and vegetation cover. This study focused on identifying an optimal configuration of TVs and MVs in buildings with the purpose of reducing the concentrations of particulate material coming mainly from vehicular combustion. The study was carried out considering simulations of an urban space with Envi-met V4, which is a CFD Fluid Computational Dynamics model. For this, an analysis was made taking into account the climatic conditions and modifying two variables of the structure of the walls and ceilings: coverage coefficient and height of the building. Simulations were made for coverage of 25%, 50%, 75% and 100% and for heights of 5m, 10m, 20m and 30m. All possible combinations were made and the concentration of particles at the pedestrian level was analyzed. The results showed that the impact on the decrease in CO concentrations is greater using green walls. In addition, it is recommended to use coverage between 75% and 50% for roofs on buildings with heights of up to 10m. Finally, it is concluded that the use of this infrastructure can have a great influence on the improvement of air quality and with the presented configuration proposal its potential could be maximized.

Keywords: green roofs, green walls, atmospheric pollution, particulate matter capture

1. Introducción

Uno de los principales problemas a los que está expuesta la población en las ciudades es la mala calidad del aire, la cual ha sido asociada a múltiples factores generados principalmente por actividades humanas. Tan grave es esta problemática que, la Organización Mundial de la Salud OMS considera la exposición a concentraciones de material particulado $MP_{2.5}$ superiores a los $20 \mu g \cdot m^{-3}$ como un alto riesgo para el desarrollo de enfermedades cardiopulmonares e incluso la muerte (OMS, 2005, 2014, 2016). A partir de lo anterior, distintas iniciativas han sido generadas para mejorar la calidad del aire incluyendo el uso de infraestructura vegetal urbana: árboles (Cabaraban, Kroll, Hirabayashi, & Nowak, 2013), arbustos (Sæbø et al., 2012), pastos (A. P. R.

Jeanjean, Monks, & Leigh, 2016), techos verdes TVs y muros verdes MVs (Jayasooriya, Ng, Muthukumaran, & Perera, 2017).

Se ha evidenciado el potencial de las infraestructuras vegetales para mejorar la calidad del aire y se ha reconocido su uso como mecanismo de depuración de contaminantes suspendidos en la atmósfera (Abhijith et al., 2017; Chen, Liu, Zou, Yang, & Zhang, 2015; Liu et al., 2018; Viecco et al., 2018; H. Yang & Liu, 2011; Jia Yang, Wang, & Xie, 2015; Jun Yang, Yu, & Gong, 2008). Es sabido que individualmente los árboles, por tener mayores superficies foliares, capturan mayor cantidad de partículas sobre sus hojas que los TVs (Jun Yang et al., 2008), sin embargo, debido a la densificación urbana, no se cuenta con superficie suficiente para plantar árboles en las ciudades. Por esta razón se han considerado a los TVs y MVs como una valiosa estrategia de implementación de vegetación en las superficies de los edificios que pueden aportar a los árboles en la mejora de la calidad del aire de las ciudades.

Con base en lo anterior, se ha estudiado desde tipologías de vegetación que pueden mejorar el desempeño de TVs y MVs en la captura de material particulado MP suspendido a nivel urbano (Viecco et al., 2018), hasta el impacto de las GI incluyendo TVs y MVs considerando variables atmosféricas (Wania, Bruse, Blond, & Weber, 2012). Para analizar el desempeño de esta infraestructura a nivel urbano, se ha implementado modelos matemáticos que simulan emisiones, dispersión y la dinámica de partículas en el medio ambiente al que están expuestas (Currie & Bass, 2008; Vranckx, Vos, Maiheu, & Janssen, 2015; Wania et al., 2012).


Por otro lado, algunos estudios promueven el uso de coberturas densas de árboles a nivel urbano (Escobedo et al., 2008; Nowak, 2000). Sin embargo, algunos estudios han evidenciado que a pesar de que los árboles tienen mayor aporte en la captura de partículas, no necesariamente el incremento de área foliar beneficia la mejora de la calidad del aire, por lo contrario, existen configuraciones que favorecen la dispersión de partículas y se ha sugerido evitar su implementación en cañones de ciudades, con poca ventilación (Wania et al., 2012). Lo anterior está soportado en que los efectos aerodinámicos de las partículas prevalecen sobre los efectos de depositación o captura (A. Jeanjean, Buccolieri, Eddy, Monks, & Leigh, 2017; Tong, Baldauf, Isakov, Deshmukh, & Max Zhang, 2016). Una alternativa a los árboles es el uso de setos y barreras de vegetación en cañones urbanos (Rui, Buccolieri, Gao, Ding, & Shen, 2018). Limitadas investigaciones han evaluado la reducción de la contaminación del aire debido a TVs y MVs a escala local en el entorno construido y se desconoce el potencial de los TVs en combinación con MVs. Adicionalmente, se requiere que se desarrollen recomendaciones genéricas para el diseño de TVs y MVs (Abhijith et al., 2017).

A partir de lo anterior, y considerando el potencial de los TVs y MVs en la captura de material particulado atmosférico, el presente estudio se enfoca en evaluar múltiples configuraciones de TVs y MVs en edificaciones para generar recomendaciones de diseño con el fin de disminuir la contaminación atmosférica urbana. El análisis se realiza en una zona urbana de una ciudad con clima semiárido.

2. Metodología

El estudio fue realizado en un espacio urbano donde se simularon unas condiciones medioambientales y de generación de partículas bajo el modelo que propone el software Envi-met. Envi-met es un modelo basado en las leyes de la mecánica de fluidos y termodinámica, el cual permite simular las condiciones medioambientales para un volumen de control considerando topografía y emisión de contaminantes, entre otras cosas. El modelo fue seleccionado teniendo en cuenta que permite cuantificar el impacto de las GI en la calidad del aire considerando el metabolismo de las plantas. El volumen de control se ubica en el centro de la ciudad de Santiago (ver Figura 1), considerando que es característico de un clima Mediterráneo. En la Tabla 1 se presenta un detalle de los parámetros de entrada para el modelo en Envi-met.

Tabla 1: Parámetros de entrada para el volumen de control

Descripción	Model for sensitivity analysis	Visualización real desde Google Earth
Localización	Santiago Chile (-33.467247, -70.656954)	
Volúmen de control	120 x 120 x 30, 2L (360 m x 360 m x 90 m)	
Edificios	Four blocks	
Resolución de la grilla	2 m x 2 m x 2 m (x, y, z)	
Fecha de inicio	July 23; 4:00 Hrs	
Variables climatológicas	Estación de monitoreo medioambiental Independencia, Santiago, Chile, Julio 2015	
Fuente	CO; Línea: desde (DICTUC, 2016) 500-1500 µg/m·s; tasa: 600 s	
Superficies	Edificios: concreto; pavimento: Suelos arcillosos	
Ingraestructura verde GI	Pastos, <i>Platanus acerifolia</i> , <i>Robinia Pseudoacacia</i> , <i>Palma washingtonia</i> and <i>Sedum album</i>	
Duración corridas	4 horas	

En total fueron 4 cuadras, se identificó con el uso de imágenes satelitales desde Google Earths, superficies sobre la envolvente de edificios (techos y muros) dispuestas para instalar TVs y MVs. Para simplificar el modelo, se colocó una superficie equivalente, concentrada en la parte central de cada bloque analizado (ver Figura 1. Para el caso de muros, se utilizó un porcentaje de 70% de superficies libres para instalar MVs sobre estas.

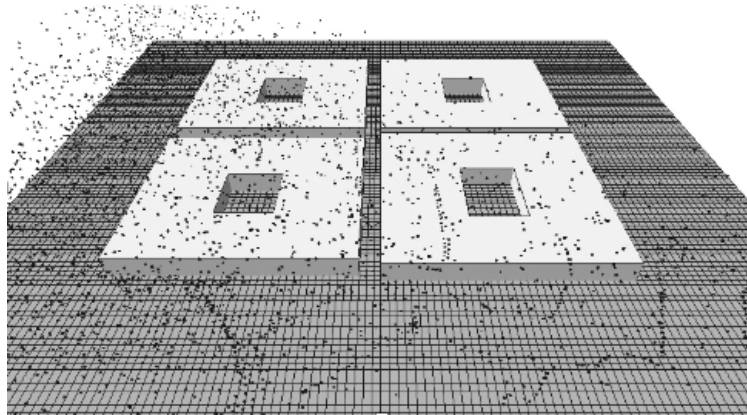


Figura 1. Modelo simplificado en Envi-met

Se realizaron dos diseños experimentales factorial de 2 factores en dos niveles, uno par TVs y otro para MVs. Se evaluó como primer factor, altura del edificio: 5m, 10m, 20m y 30m. El segundo fue cobertura de vegetación (Cr): 0%, 25%, 50% y 100% (ver Figura 2). En total se hicieron 20 simulaciones o corridas experimentales para TVs y 20 para MVs.

Finalmente, se analizó el impacto de la vegetación en la calidad del aire analizando concentración de partículas suspendidas en el volúmen de control y la cantidad de material particulado depositado en todas las superficies dispuestas en cada escenario. Se compararon los casos con vegetación y sin vegetación para TVs y MVs por separado.

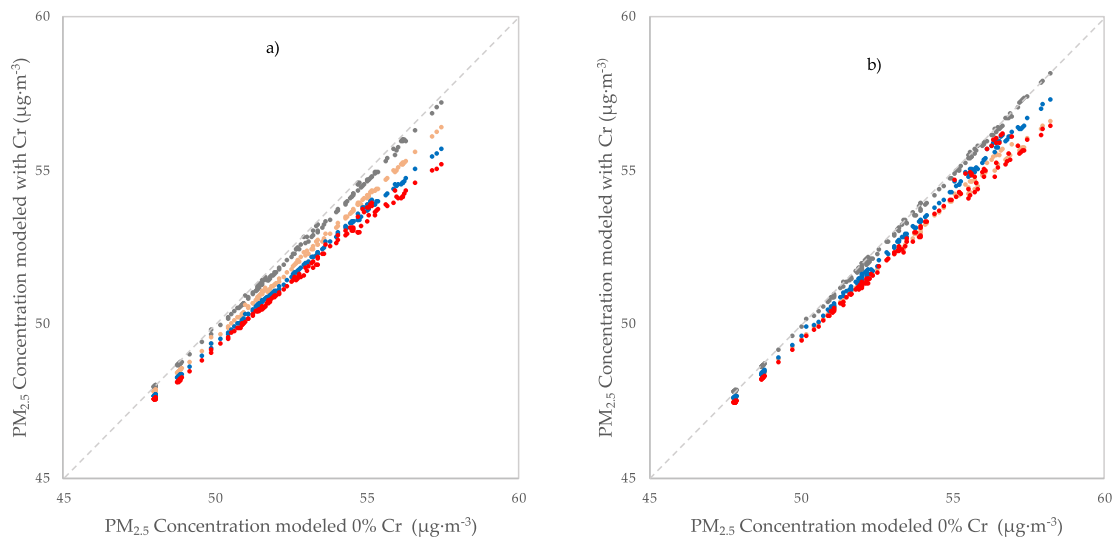
Cr/GI	TVs	MVs
25%		
50%		
75%		
100%		

Figura 2. Configuraciones de TVs y MVs evaluadas

3. Resultados y análisis

En las figuras 3 y 4 se presenta una comparación entre la concentración de MP en el volumen de control para los distintos escenarios analizados: con y sin TVs y MVs. En cuanto a la influencia de los factores analizados en la mejora de la calidad del aire, para el caso de TVs, la cercanía a la fuente fue el factor que mayor impacto presentó sobre la concentración y la depositación de MP. Es decir, los escenarios con TVs ubicados en los edificios más bajos, presentaron una disminución de la concentración de MP a nivel peatón y en la depositación de partículas en el volumen de control. Por lo tanto, para mejorar la calidad del aire a nivel del peatón, deberían instalarse TVs en las edificaciones con menores alturas (menos de 10 m). En cuanto a la cobertura de vegetación, en edificios con alturas entre 5 m y 15 m, el mejor desempeño se presentó para Cr de 50%; para alturas entre 15 m y 20 m 25% y para alturas superiores no es relevante. Estos resultados soportan lo indicado por (Ottel, van Bohemen, & Fraaij, 2010), quien concluye de manera experimental que la cercanía a la fuente tiene una incidencia positiva en la captura de MP.

Por otro lado, para los escenarios con MVs, el efecto fue positivo en todos los casos, sin embargo, no se presenta un comportamiento típico debido a que se presenta una mayor dispersión de partículas cerca de las superficies vegetadas. Es decir, en algunos casos prevalecen los efectos aerodinámicos a los de captura o depositación, similar a los efectos encontrados en árboles (A. Jeanjean et al., 2017; Tong et al., 2016). La cobertura recomendada en este caso es 25%.



CONFIGURACIONES DE TECHOS Y MUROS VERDES EN EDIFICACIONES PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA URBANA

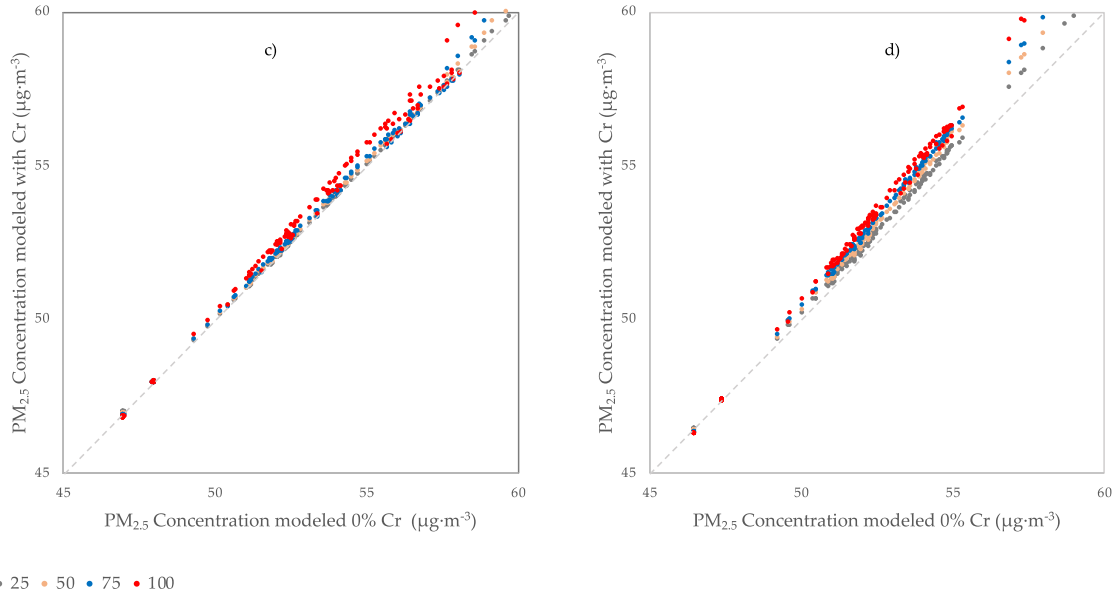
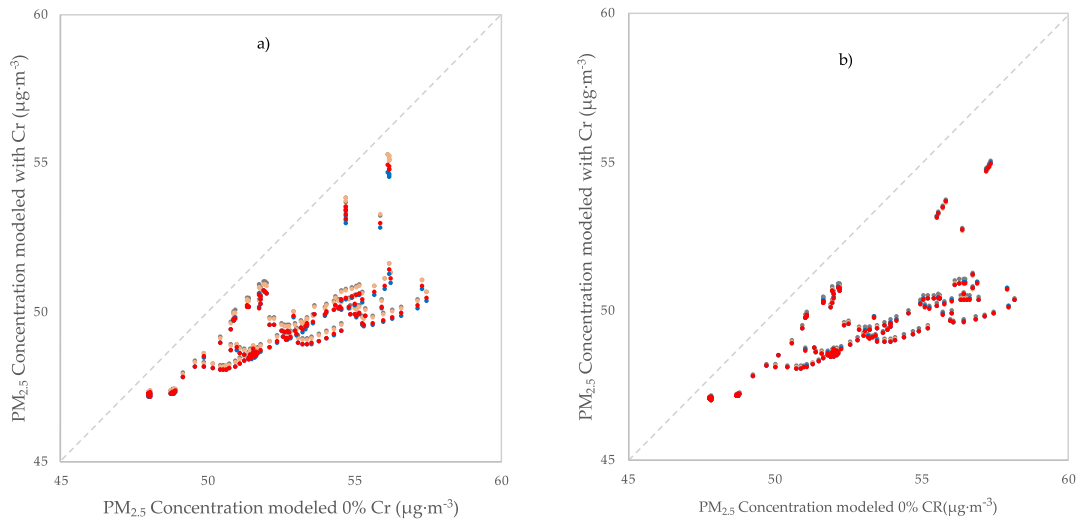


Figura 3: Concentración de MP en TVs para distintas Cr. Alturas: a) 5m, b) 10 m, c) 20 m and d) 30 m

Adicionalmente, es necesario considerar otros factores como la localización del edificio. En este sentido, debería preferirse instalar TVs sobre edificios cerca de la zona de emisión y sin otra infraestructura cerca que modifique el flujo de partículas.



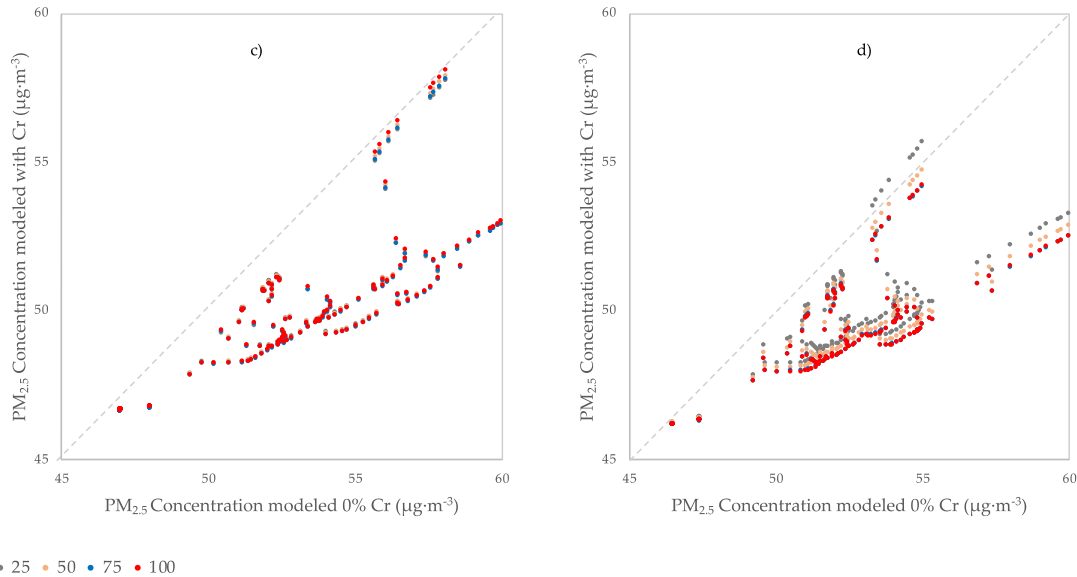


Figure 4: Concentración de MP en MVs para distintas Cr. Alturas: a) 5m, b) 10 m, c) 20 m and d) 30 m

4. Conclusiones

TVs y MVs tienen un impacto positivo en la mejora de la calidad del aire urbano. Los hallazgos presentados permiten recomendar la instalación de TVs y MVs en espacios urbanos y se realizan recomendaciones específicas desde una perspectiva espacial. Para mejorar el desempeño es necesario considerar otros factores como la ubicación y altura de la edificación, cobertura vegetal e infraestructura cerca. Se recomienda la instalación de TVs en edificios con alturas inferiores a los 15 m con un Cr de 50%. Para MVs, los efectos aerodinámicos de las partículas prevalecen los efectos de captura o depositación.

Finalmente, los hallazgos aquí presentados podrán ser considerados para el desarrollo de políticas públicas para la implementación de TVs y MVs a nivel urbano.

5. Referencias

- Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., ... Pulvirenti, B. (2017). Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. *Atmospheric Environment*, 162, 71–86. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.014>
- Cabaraban, M. T. I., Kroll, C. N., Hirabayashi, S., & Nowak, D. J. (2013). Modeling of air pollutant removal by dry deposition to urban trees using a WRF/CMAQ/i-Tree Eco coupled system. *Environmental Pollution*, 176, 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.01.006>
- Chen, L., Liu, C., Zou, R., Yang, M., & Zhang, Z. (2015). Experimental examination of effectiveness of vegetation as bio-filter of particulate matters in the urban environment. *Environmental Pollution*, 208, 198–208. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.006>

- Currie, B. A., & Bass, B. (2008). Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban Ecosystems*, 11(4), 409–422. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0054-y>
- Escobedo, F. J., Wagner, J. E., Nowak, D. J., De la Maza, C. L., Rodriguez, M., & Crane, D. E. (2008). Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forests to improve air quality. *Journal of Environmental Management*, 86(1), 148–157. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.11.029>
- Jayasooriya, V. M., Ng, A. W. M., Muthukumaran, S., & Perera, B. J. C. (2017). Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. *Urban Forestry and Urban Greening*, 21, 34–47. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.007>
- Jeanjean, A., Buccolieri, R., Eddy, J., Monks, P., & Leigh, R. (2017). Air quality affected by trees in real street canyons: the case of Marylebone neighbourhood in central London. *Urban Forestry & Urban Greening*, 22, 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.009>
- Jeanjean, A. P. R., Monks, P. S., & Leigh, R. J. (2016). Modelling the effectiveness of urban trees and grass on PM2.5 reduction via dispersion and deposition at a city scale. *Atmospheric Environment*, 147, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.033>
- Liu, J., Cao, Z., Zou, S., Liu, H., Hai, X., Wang, S., ... Jia, Z. (2018). An investigation of the leaf retention capacity, efficiency and mechanism for atmospheric particulate matter of five greening tree species in Beijing, China. *Science of The Total Environment*, 616–617, 417–426. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.10.314>
- Nowak, D. J. (2000). UFORE Methods. *Diversity*, 21.
- OMS. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. *Organización Mundial de La Salud*, 25. Retrieved from http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/es/
- OMS. (2014). Calidad del aire en la ciudades de América Latina. Retrieved from <http://www.elcomercio.com/tendencias/ciudades-ecuador-polucion-enfermedades-contaminacion.html>
- OMS, O. M. de la S. (2016). La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/air-pollution-estimates/es/>
- Ottel, M., van Bohemen, H. D., & Fraaij, A. L. A. (2010). Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls. *Ecological Engineering*, 36(2), 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.02.007>
- Rui, L., Buccolieri, R., Gao, Z., Ding, W., & Shen, J. (2018). The impact of green space layouts on microclimate and air quality in residential districts of Nanjing, China. *Forests*, 9(4), 1–20. <https://doi.org/10.3390/f9040224>
- Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H. M., Gawronska, H., & Gawronski, S. W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment*, 427–428, 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.084>
- Tong, Z., Baldauf, R. W., Isakov, V., Deshmukh, P., & Max Zhang, K. (2016). Roadside vegetation barrier designs to mitigate near-road air pollution impacts. *Science of the Total Environment*, 541, 920–927. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.067>

- Viecco, M., Vera, S., Jorquera, H., Bustamante, W., Gironás, J., Dobbs, C., & Leiva, E. (2018). Potential of Particle Matter Dry Deposition on Green Roofs and Living Walls Vegetation for Mitigating Urban Atmospheric Pollution in Semiarid Climates. *Sustainability*, 10(7), 2431. <https://doi.org/10.3390/su10072431>
- Vranckx, S., Vos, P., Maiheu, B., & Janssen, S. (2015). Impact of trees on pollutant dispersion in street canyons: A numerical study of the annual average effects in Antwerp, Belgium. *The Science of the Total Environment*, 532, 474–483. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.032>
- Wania, A., Bruse, M., Blond, N., & Weber, C. (2012). Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations. *Journal of Environmental Management*, 94(1), 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.036>
- Yang, H., & Liu, Y. (2011). Phytoremediation on Air Pollution. *The Impact of Air Pollution on Health, Economy, Environment and Agricultural Sources*. <https://doi.org/10.5772/19942>
- Yang, J., Wang, H., & Xie, B. (2015). 1 . Accumulation of particulate matter on leaves of nine urban greening plant species with different micromorphological structures in Beijing, 28(3), 13198. <https://doi.org/10.13198/j.issn.1001-6929.2015.03.08>
- Yang, J., Yu, Q., & Gong, P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, 42(31), 7266–7273. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.003>

Sobre los Autores

- **Margareth Viecco:** profesor asociado Fac Ing Civil UPB-Bga. Ingeniera Civil Universidad de la Costa, Colombia. Mgs en Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Colombia. Candidata a Doctor en Cs de la Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- **Sergio Vera:** profesor asociado Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (UC). Ingeniero Civil y Magister en Ciencias de la Ingeniería de la misma casa de estudios, Doctor en Ingeniería Arquitectónica en Concordia University (Montreal, Canadá).
- **Héctor Jorquera:** Profesor titular de la Escuela de Ingeniería Pontificia Universidad Católica de Chile. Doctor en la Universidad de Minnesota en 1991. Profesor visitante en la Universidad de la Borgoña (Dijon, Francia), Imperial College (Londres, UK), University of Iowa (Center for Global and Regional Environmental Research), Harvard University (Atmospheric Chemistry Group) y el National Center for Atmospheric Research (Boulder, CO, EEUU)

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)